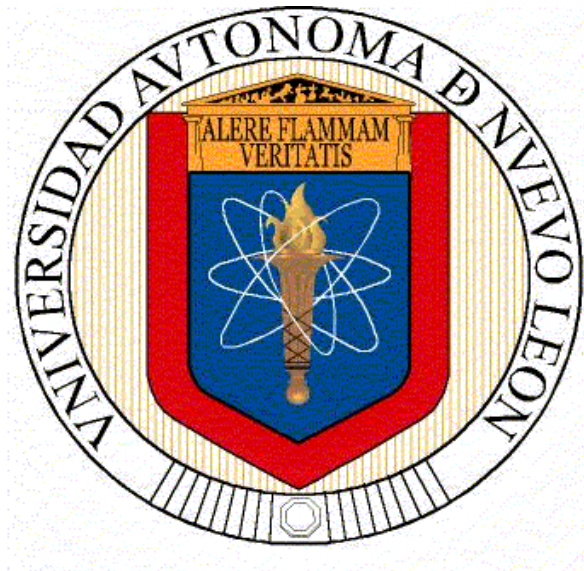


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN



PRESENCIA DE MERCURIO EN PESCADO FRESCO QUE SE
COMERCIALIZA EN EL AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

POR

ABRAHAM RAMÍREZ ARIZPE

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS EN SALUD PÚBLICA

MAYO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN

SUBDIRECCION DE INVESTIGACION, INNOVACION Y POSGRADO



PRESENCIA DE MERCURIO EN PESCADO FRESCO QUE SE
COMERCIALIZA EN EL AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Por

ING. ABRAHAM RAMÍREZ ARIZPE

Director de Tesis

Dr. Esteban Gilberto Ramos Peña

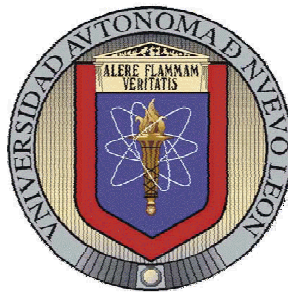
Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS EN SALUD PÚBLICA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN

SUBDIRECCION DE INVESTIGACION, INNOVACION Y POSGRADO



PRESENCIA DE MERCURIO EN PESCADO FRESCO QUE SE
COMERCIALIZA EN EL AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Por

ING. ABRAHAM RAMÍREZ ARIZPE

Co- Director de Tesis

Dr. Humberto Rodríguez Fuentes

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS EN SALUD PÚBLICA

PRESENCIA DE MERCURIO EN PESCADO FRESCO QUE SE
COMERCIALIZA EN EL AREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Aprobación de Tesis

Dr. Humberto Rodríguez Fuentes

Presidente

Dr. Esteban Gilberto Ramos Peña

Secretario

Dr. Miguel Ángel Quiroga García

Vocal

Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo

Asesor Externo

Dr. Esteban Gilberto Ramos Peña

Subdirector de Investigación, Innovación y Posgrado

Agradecimientos

Quiero dar gracias a Dios por haberme permitido ser parte de esta experiencia, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACTY), por el apoyo de manutención.

Agradezco infinitamente a mi familia ya que son parte de este trabajo de investigación.

Les doy las gracias mis asesores de Tesis al Dr. Esteban Gilberto Ramos Peña por su apoyo para la realización de este trabajo de investigación, al Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo, al Dr. Miguel Ángel Quiroga García y el Dr. Humberto Rodríguez Fuentes.

Además quiero agradecer a todos los profesores que me han apoyado y que siempre están presentes:

- Dr. Jesús Alfonso Fernández Delgado de la Facultad de Agronomía de la UANL.
- Dr. Emilio Olivares de la Facultad de la Facultad de Agronomía de la UANL.
- Dr. Alejandro Luna Maldonado de la Facultad de la Facultad de Agronomía de la UANL.
- M.C. Mirna Elizabeth Santos Lara de la Facultad de Salud Pública y Nutrición de la UANL.
- M.C Luz María Escobar Rodríguez de la Facultad de Salud Pública y Nutrición de la UANL.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico a Dios

A mis hijos.

A mis padres Francisco Javier Ramírez Zúñiga y Martha Arizpe Aguirre.

Al Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo por ordenar mis ideas, ser mi guía y por calmar mis ansias de terminar las cosas.

A la Facultad de Salud Pública y Nutrición por haberme formado en esta disciplina.

Al Dr. Jesús Alfonso Fernández Delgado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por todo su apoyo en momentos difíciles.

A mis compañeros de clase, quienes juntos compartimos mañanas, tardes y noches.

Contenido

Agradecimientos	i
Dedicatoria.....	ii
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Figuras	vi
1 ANTECEDENTES	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Marco teórico.	2
1.2.1 Características del Mercurio.....	2
1.2.2 Producción Nacional de Mercurio.....	3
1.2.3 Ciclo Natural del Mercurio.	5
1.2.4 Ciclo Antropogénico del Mercurio.....	6
1.2.5 Proceso de Metilación del Mercurio	8
1.2.6 La Pesca en México	8
1.2.7 Poblaciones de alto riesgo	10
1.2.8 Toxicología del mercurio	11
1.2.9 Normatividad del Mercurio en México	15
1.3 Estudios Relacionados.	18
2 Planteamiento del problema.....	22
3 Justificación.....	22
4 Hipótesis.....	24
5 OBJETIVOS	24
5.1 Objetivo General.....	24

5.2	Objetivo Especifico	24
6	Metodología.....	25
6.1	Diseño del estudio	25
6.2	Universo de estudio	25
6.3	Población de estudio	25
6.4	Criterios de selección.....	25
6.5	Técnica muestral	26
6.6	Cálculo del tamaño de la muestra	26
6.7	Variables.....	26
6.8	Instrumentos de medición.....	26
6.9	Procedimiento.....	27
6.9.1	Colecta de la muestra	27
6.9.2	Homogenización de la muestra.....	28
6.9.3	Digestión de la muestra.....	30
6.9.4	Preparación del Analito	33
6.9.5	Control de calidad de la técnica empleada.....	35
6.10	Plan de análisis.....	36
7	Resultados	37
8	Discusión.....	39
9	Conclusiones.....	41
10	Trabajos citados.....	42
11	Anexos	47

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Características generales del mercurio	2
Cuadro 2. Emisiones de mercurio generadas por la industria en México.	4
Cuadro 3 Contenido Total de Se y Hg encontrados en materiales de referencia y muestras de pescado.	18
Cuadro 4. Concentraciones de Fe, Zn, Mn, Cu, Hg, As, Cd, Cr (mg/kg*) en muestras de peces provenientes del Laguito, Nuevo Laredo, Tamps.	19
Cuadro 5 Contenido de mercurio (mg/kg) en atún enlatado.	20
Cuadro 6 Contenido de mercurio (mg/kg) en sardina enlatada.	20
Cuadro 7 Parámetros de digestión por microondas.	30
Cuadro 8 Estadística descriptiva de la concentración de Mercurio Total* según especies de pescados.	37
Cuadro 9 Distribución percentilar de la concentración de Mercurio Total* según Especies analizadas	38
Cuadro 10 Estadística inferencial* de las concentraciones de HgT en especies de pescado.	38
Cuadro 11 Valores de la concentración para el percentil en Mojarra (<i>Oreochromis niloticus</i>)	47
Cuadro 12 Valores de la concentración para el percentil en Robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	47
Cuadro 13 Valores de la concentración para el percentil en Bagre (<i>Ameiurus Melas</i>)	47
Cuadro 14 Valores de la concentración para el percentil en Pescado Sierra (<i>Scomberomorus sierra</i>)	48

Índice de Figuras

Figura 1. Diagnóstico de mercurio en México.....	4
Figura 2. Ciclo natural del mercurio y su entrada a las cadenas tróficas.....	6
Figura 3. Ciclo Antropogénico del mercurio.....	7
Figura 4. Características geográficas de México.....	9
Figura 5: Modelo toxico cinético del mercurio.....	14
Figura 6. Concentración media de mercurio (ppm) en peso fresco.....	21
Figura 7 Diagrama de flujo para la determinación de HgT en muestras de pescado fresco.....	27
Figura 8 Diagrama de flujo del proceso de homogenización de la muestra.....	29
Figura 9 Diagrama de flujo del proceso de digestión de la muestra.....	31
Figura 10 Muestra digerida por horno de microondas de doble etapa.....	32
Figura 11 Muestra digerida de pescado.....	33
Figura 12 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 1.....	49
Figura 13 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 2.....	50
Figura 14 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 3.....	51
Figura 15 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 4.....	52
Figura 16 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 5.....	53

Figura 17 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 6.....	54
Figura 18 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 7.....	55
Figura 19 Control de calidad en una muestra de atún adquirida en The Food Environment Research Agency y usada como referencia en esta investigación.	56

1 ANTECEDENTES

1.1 Introducción.

El cuerpo humano posee un gran número de células que están formadas por elementos químicos que son esenciales y cumplen una función biológica, entre otros se encuentran el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, calcio y fósforo que son los que constituyen la mayor proporción del peso del organismo (Velazquez Monroy & Ordorica, 2013), además existen otros elementos no esenciales, como el Mercurio, que es tóxico; está presente en el ambiente derivado de las fuentes naturales y antropogénicas, afecta a los organismos marinos donde pasa a estar disponible para ellos; el mercurio causa toxicidad en el humano al ser consumido, la toxicidad que se le atribuye se asocia con el envejecimiento y muerte celular.

Debido a que este metal presenta una serie de formas que afectan a la salud humana, lo vuelven sujeto de la atención de la salud pública (BANHG, 2007), su presencia ha ido en aumento desde el comienzo de la era industrial, donde la exposición de la población y a la vida silvestre es amplia y sus efectos son graves (Molina Castaño, Arango Alzate, & Serna, 2003).

Las principales especies de peces que se utilizan para consumo humano son los óseos como la mojarra (*Oreochromis niloticus*), el bagre (*Ameiurus Melas*), el robalo (*Dicentrarchus labrax*) y el pez sierra (*Scomberomorus sierra*) entre otros, que representan mayor venta y consumo a nivel nacional (Cifuentes Lemus, Torres García, & Frias M, 1997).

En México, la Norma Oficial Mexicana 098-SEMARNAT-2002, protección ambiental-incineración de residuos especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes, especifica los límites permisibles de emisiones al medio ambiente, entre ellos la del mercurio, sin embargo no se han encontrado

registros de las emisiones generadas por las diferentes industrias que permita detectar el impacto de la contaminación por metales pesados y su remediación ambiental, por lo que el consumidor de pescado estará expuesto a daños permanentes en su salud generando así un problema de salud pública (SEMARNAT, 2004).

1.2 Marco teórico.

1.2.1 Características del Mercurio

El mercurio, elemento químico no esencial para los organismos vivos, posee diversas formas químicas dependiendo del medio donde ese encuentre. Es un elemento propio de la tierra, que se extrae del sulfuro de mercurio (PNUMA, 2002). Sus características se presentan en la Cuadro 1.

Cuadro 1 Características generales del mercurio

Símbolo	Propiedad	Valor
Hg	Numero atómico	80
	Peso Atómico	200.59
	Oxidación	+1 , +2
	Punto de fusión °C	-38.5
	Punto de ebullición °C	357
	Densidad (mg/l)	16.6

Tomado de: (PNUMA, 2002)

En el ambiente existe bajo diferentes formas donde pueden intervenir los microorganismos para formar diferentes compuestos, ya sea en forma metálica (de color plateado y liquido), de vapor o gas, combinado con otros elementos (como cloro, sulfuro y oxígeno) para formar sales inorgánicas o bien formando compuestos orgánicos, donde están unidos al menos un átomo de carbono (como el metilmercurio o fenilmercurio), los cuales también pueden presentarse en forma de sales, a través de procesos naturales. Este elemento es

ampliamente utilizado por la industria de la minería, la siderurgia y la producción de cloro (Yarto Ramirez, Gavilan Garcia, & Castro Diaz, 2004) es asimilado por los seres vivos a través de la cadena alimenticia, la exposición del humano a este mineral, provoca daños permanentes a la salud.

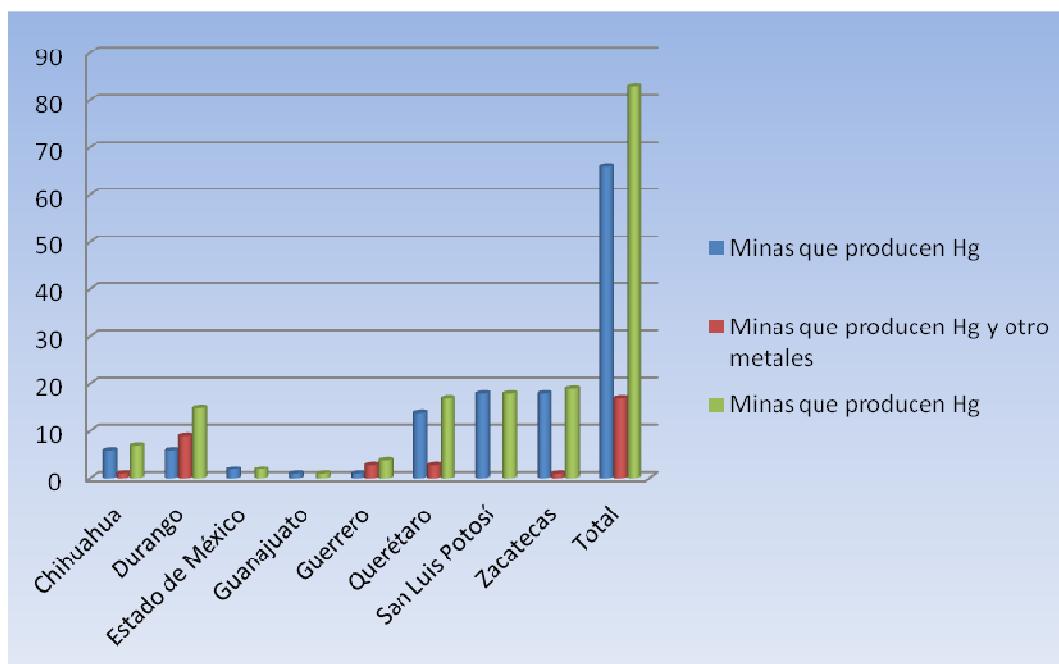
1.2.2 Producción Nacional de Mercurio.

En México existen 21 estados de la República Mexicana que producen mercurio localizados en la zona norte y centro del país; se han detectado un total de 4,705 minas, de ellas 83 son de mercurio, de las cuales, 66 reportan que solo producen mercurio y 17 mercurio y otro elemento. Se encuentran ubicadas en 8 estados (Chihuahua, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas) figura 1 Diagnostico de Mercurio en México (Ramirez Alvarez, Castro Diaz, & Eden Winter, 2000).

La industria manufacturera del mercurio (Hg) lo emplea por sus características de expansión y contracción por acción de la temperatura, tiene capacidad de resistir altas presiones, presenta opacidad y brillo (Galvao L y Corey G., 1987).

En México, el mayor consumo de mercurio es de origen secundario, está en la producción de cloro, manufactura de lámparas, amalgamas e instrumentos de clínicos de medición (Ramirez, 2008). También se ha descrito su empleo como fungicida para proteger granos (como el mercurocromo) y folclóricos (para problemas estomacales), en cosméticos y prácticas de ocultismo (SEMARNAP, 1996). Las emisiones de mercurio generadas por la industria en México se muestran en el cuadro 2.

Figura 1. Diagnóstico de mercurio en México.



Fuente: Diagnostico de Mercurio en México SEMARNAP-INE (2000).

Cuadro 2. Emisiones de mercurio generadas por la industria en México.

Industria	Emisiones Generadas de Hg por año/kg
Plantas de Cloro-álcali	56, 500
Termómetros y esfigmomanómetros	2, 240
Consultorios Dentales	1,150
Lámparas Fluorescentes	1,000
Usos Artesanales	900
Usos Culturales-Religiosos	112.5
Procesos de producción de carbón y coque	8,450
Carboelectricas	20,625
Fundición de metales	38,120
Producción de cemento	2,610
Incineradores de residuos peligrosos biológicos-infecciosos	7,150
Empresas autorizadas para incinerar residuos industriales	388
Cremación	21.9

Fuente: (Ramírez A Jose, 2000)

La producción mundial del mercurio ha presentado variaciones considerables ya que se incrementó hasta alcanzar su mayor nivel en 1991 con 10,488 toneladas

año, para de decrecer en forma considerablemente hasta 1,420 toneladas en el 2002 (Yarto Ramirez, Gavilan Garcia, & Castro Diaz, 2004).

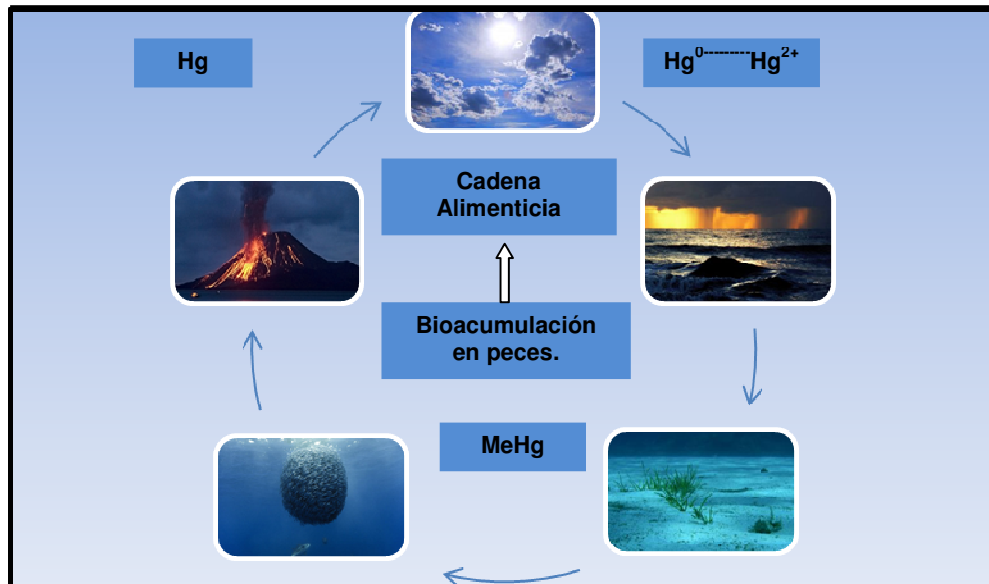
1.2.3 Ciclo Natural del Mercurio.

El ciclo natural del mercurio es el flujo permanente de este elemento entre atmosfera, suelo y agua, la mayor fuente de mercurio en forma natural se desprende de la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones de los volcanes donde los vapores generados se incorporan a las cadenas tróficas (Olivero Verbel & Jhonson Restrepo, 2002) y se acumula en los lagos, ríos, mares, océanos y se convierte en metilmercurio, tipo de mercurio que es perjudicial para el ser humano (PNUMA, 2002). Figura 2 Ciclo natural del mercurio y su entrada a la atmosfera.

Este ciclo está basado en el comportamiento de Hg a través del ambiente:

- a) Desgasificación natural de la corteza terrestre.
- b) Movimiento en forma gaseosa a través de la atmosfera.
- c) Oxidación de mercurio gaseoso (Hg^0) a mercurio reactivo o divalente (Hg^{2+}) y su posterior deposición en la tierra o sobre la superficie del agua.
- d) Precipitación o bioconversión en formas más volátiles o solubles como metilmercurio (MeHg).
- e) Reentrada a la atmosfera o bioacumulación en la cadena alimenticia.

Figura 2. Ciclo natural del mercurio y su entrada a las cadenas tróficas.



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

1.2.4 Ciclo Antropogénico del Mercurio.

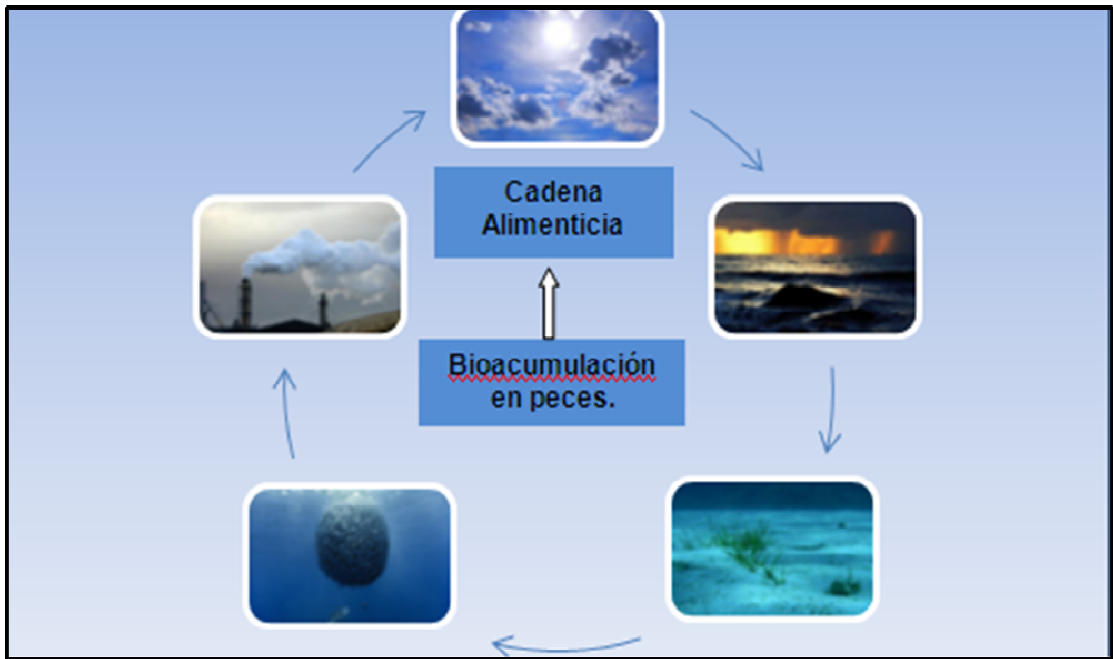
El ciclo Antropogénico del mercurio al medio ambiente se deriva de las actividades del hombre, donde se utiliza como fungicida, herbicida, en industrias electroquímicas, las pinturas, las pilas, la industria de catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales donde pasa a las cadenas tróficas por el ciclo del agua, como se muestra en la figura 3 Ciclo Antropogénico del Mercurio.

Es importante considerar que las aguas residuales urbanas son una fuente importante de mercurio elemental. Las redes de alcantarillado pueden liberar entre 200 y 400 kg de mercurio por millón de habitantes (Sepulveda Gallego, Agudelo Gallego, & Arengas Castilla, 2006)

Este elemento es un contaminante atmosférico, sobre todo en zonas altamente industrializadas, lanzándose a la atmosfera hasta 3.000 toneladas por año de Hg . La contaminación más importante es de las industrias electrolíticas de

producción de cloro y álcalis, originando una concentración atmosférica de Hg de 20ng/m^3 (PNUMA, 2002).

Figura 3. Ciclo Antropogénico del mercurio



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

En el ciclo acuático del mercurio, la especie predominante es el metil mercurio, muy soluble y que puede ser bioacumulado directamente por los peces o seguir un proceso de biotransformación realizado por microorganismos acuáticos, da lugar a dos especies orgánicas, el dimetilmercurio volátil, que se dispersa en la atmosfera y el metilmercurio que se bioacumula en los peces y por tanto es incorporado a las cadenas tróficas.

En cuanto al comportamiento del mercurio en el agua se puede concluir lo siguiente:

- a) Todas las formas de Hg se transforman en Hg^{2+} en el agua.

- b) Las especies oxidadas de mercurio se reducen a Hg^0 , por acción de bacterias en un proceso anaeróbico y se sedimenta.
- c) El Hg se metila en aguas continentales, litorales, ríos y lagos.

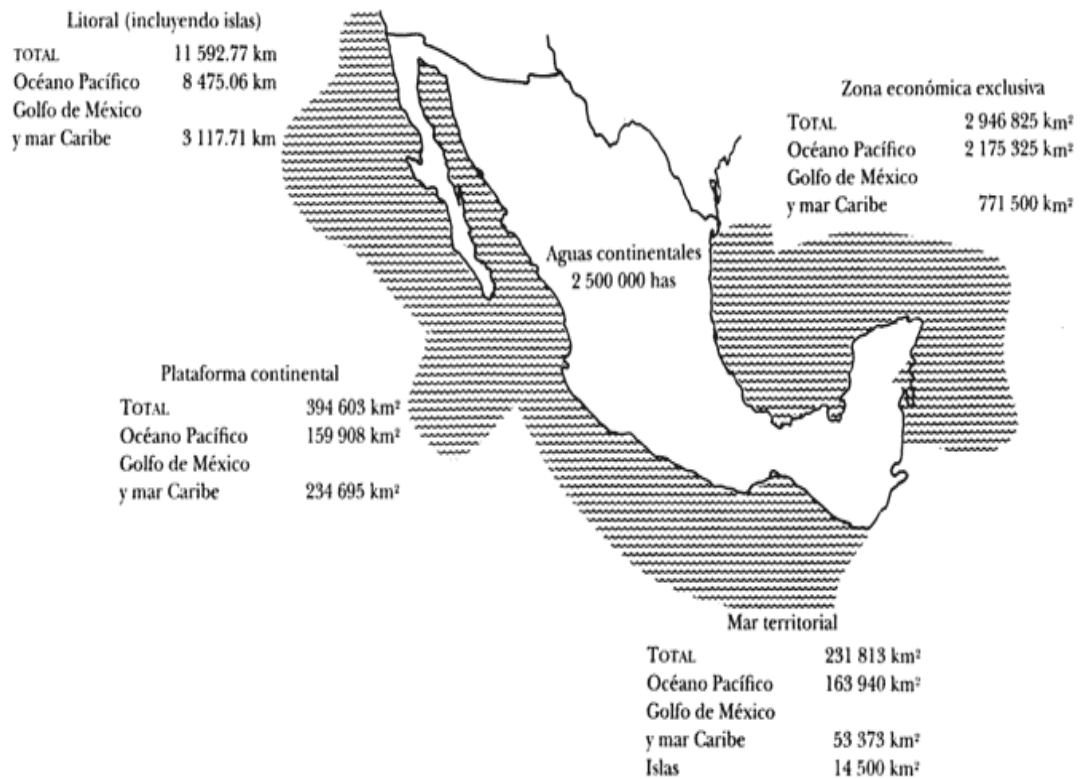
1.2.5 Proceso de Metilación del Mercurio

La metilación del mercurio tiene lugar cuando este elemento entra en contacto con el agua, por metilación aeróbica y anaerobia de especies de bacterias (Osores Plenge, Grandez Urbina, & Fernandez Luque, 2010) que lo transforman en metilmercurio que es la forma más tóxica del metal, es tomado por organismos microscópicos, donde se integra a la cadena alimenticia de los peces pequeños estos de los grandes, hasta alcanzar al hombre (Vazquez Salas, 2008). Cuando el metilmercurio está presente en el agua, atraviesa las membranas biológicas con facilidad, unida a su liposolubilidad y su afinidad al grupo sulfhidrilos de las proteínas (Navarrete., 2010).

1.2.6 La Pesca en México

La República Mexicana posee 11 592.77 km de costas, de los cuales 8,475.06 km corresponden al litoral del Pacífico y 3,117.71 km al Golfo de México y Mar Caribe, incluyendo sus islas; su plataforma continental es mayor en el Golfo de México con aproximadamente 394 603 km²; además cuenta con 12,500 km² de lagunas costeras y esteros y dispone de 6,500km² de aguas interiores, como lagos, lagunas, represas y ríos figura 4 características geográficas de México (Cifuentes Lemus, Torres Garcia, & Frias M, 1997).

Figura 4. Características geográficas de México.



Tomado de: (Cifuentes L, Torres G, Frias M.)

Los ecosistemas costeros y estuarios son sumamente frágiles y a lo largo del litoral del país han sufrido transformaciones, muy relevantes, ocasionadas por la represa de los ríos, el cierre de las comunicaciones, entre las lagunas y el mar y por los vertimientos de los desechos municipales e industriales de las poblaciones colindantes, los cuales contienen diversos contaminantes entre los que destacan algunos metales pesados como el mercurio entre otros (Villanueva F & V Botello, 1992).

La pesca y la acuicultura son asuntos de seguridad nacional, algunos estudios realizados por el Instituto Nacional de la Pesca muestran que del total de las pesquerías evaluadas, el 27% se encuentran en deterioro, 53% en un máximo de su aprovechamiento y solamente el 20% tiene posibilidades de un aumento en su producción, la problemática en la producción pesquera y acuícola de

México se encuentra asociada a las deficiencias estructurales, rezago social en la producción pesquera, limitaciones de carácter organizacional, tecnológico, de asistencia y capacitación. En el 2001, la acuicultura contribuyó aproximadamente en un 12.93 % de la producción pesquera total 521,957 toneladas, para el año del 2003 el valor de la producción pesquera fue de 419,265,877 dólares con un volumen de 204,012 toneladas, pero no se tienen registros del cumplimiento de la normatividad para contaminantes (Ramírez Álvarez, Castro Díaz, & Eden Winter, 2000)

Los grandes mercados nacionales de productos acuícolas son La Viga, La Nueva Viga ubicados en Distrito Federal y el mercado Zapopan ubicado en Zapopan, Guadalajara. También se encuentran productos acuícolas en Centros Comerciales tales como: Wal-Mart, Sams, Superama y Aurrera. El único instrumento legal que existe en México en cuanto a sistemas de supervisión para cualquier alimento es la NOM-051-SCFI-1994, comercializados en el país. La vigilancia de esta norma es llevada por la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de Salud (SSA), la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) (Departamento de Pesca Y Acuicultura., 2011)

1.2.7 Poblaciones de alto riesgo

Se consideran poblaciones de alto riesgo aquellas en donde es mayor la exposición a niveles peligrosos de Hg o de que los efectos al daño sea más grave que en el resto de la población y entre ellas señalamos las siguientes:

- a) Trabajadores con exposición al mercurio ocupacional.
- b) Poblaciones vecinas a fuentes mineras o industriales.
- c) Poblaciones oriundas de regiones con contaminación mercurial.
- d) Personas que se alimentan con pescados y otros productos acuáticos.

- e) Personas que utilizan medicamentos a base de compuestos mercuriales.

Los alimentos especialmente aquellos que provienen de agua dulce o salada, son el medio más común de exposición para las poblaciones, aquellas que se alimentan de pescado, pueden introducir grandes cantidades de este metal a su organismo y desarrollar intoxicaciones (Galvao & Corey, 1987).

1.2.8 Toxicología del mercurio

En los años 50 se produjo una intoxicación masiva por metilmercurio en la bahía de Minamata, la intoxicación por este evento hace que se lo conozca como enfermedad de Minamata (Repetto, 1995). Las intoxicaciones subagudas y crónicas así como las intoxicaciones por mercurio metálico y compuestos organomercuriales tienden a dañar preferencialmente al sistema nervioso central (Galvao & Corey, 1987).

El riesgo para la salud supone el tipo de alimento, su procedencia y el contenido en el mismo pero, sobre todo y muy importante la cantidad de ese alimento que se ingiera, según su especie química y si la intoxicación es aguda o crónica, el Hg metal presenta un cuadro clínico de debilidad, escalofríos, sabor metálico, náuseas, vómitos, diarrea, tos y opresión torácica, basta con una breve exposición para producir síntomas (Español., 2011)

El metil mercurio (Hg^{2+}) precipita proteínas de las mucosas y da un aspecto ceniciento a la boca, faringe e intestino, con dolor intenso y vómitos por el efecto corrosivo sobre la mucosa del estomago, que producir shock y muerte.

Otro de los efectos que presenta el mercurio sobre lo humanos son:

- a) Daño al sistema nervioso.

- b) Daño a las funciones de cerebro
- c) Daño al ADN y cromosomas
- d) Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza
- e) Efectos negativos en la reproducción

Por lo tanto, siempre que se hable de mercurio en relación a la salud pública es necesario tener en cuenta:

- a) La zona concreta de estudio (los depósitos de mercurio más importantes a nivel mundial están localizados en el cinturón del Mediterráneo, Himalaya y Océano Pacífico).
- b) El mercurio posee una gran variedad de estados físico y químicos (elemental/ inorgánico / orgánico). Con propiedades toxicas intrínsecas a cada uno de ellos. Toxicológicamente hablando, el mercurio orgánico y fundamentalmente el metilmercurio posee una toxicidad más elevada que el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos.
- c) Considerar una serie de factores que influyen decisivamente en la toxicidad del mercurio: estado fisicoquímico, vías de penetración en el organismo, metabolismo, efectos sinérgicos.
- d) Las diferentes formas y compuestos de mercurio tienen peculiaridades toxico cinéticas específicas.

En este aspecto las propiedades químicas e interacción biológica de importancia son las siguientes:

- a) El mercurio elemental es soluble en lípidos, fácilmente soluble a través de las biomembranas y bio-oxidado dentro de las células del organismo a mercurio orgánico.
- b) El mercurio orgánico es soluble en agua y menos difusible a través de las biomembranas que el mercurio elemental, induce a la síntesis de

proteínas del tipo metalotioneína en el riñón, siendo las proteínas la unión principal del mercurio.

Una vez absorbido el transporte se realiza por los distintos constituyentes de la sangre, de forma general puede afirmarse que el 90% de los compuestos orgánicos se transporta en los eritrocitos. Un 50% de mercurio inorgánico es vehiculado por el plasma, unido a la albumina (Español., 2011).

Para las sales inorgánicas de mercurio, este se une a las proteínas del eritrocito y se une a la hemoglobina. Tanto en humanos como en animales el metilmercurio se une al glutatión que es el antioxidante más poderoso del organismo regula las funciones del sistema inmunológico, protege al ADN de mutaciones y ayuda a inhibir la replicación de virus.

La distribución del mercurio en el organismo tiende a alcanzar un estado de equilibrio determinado por los siguientes factores:

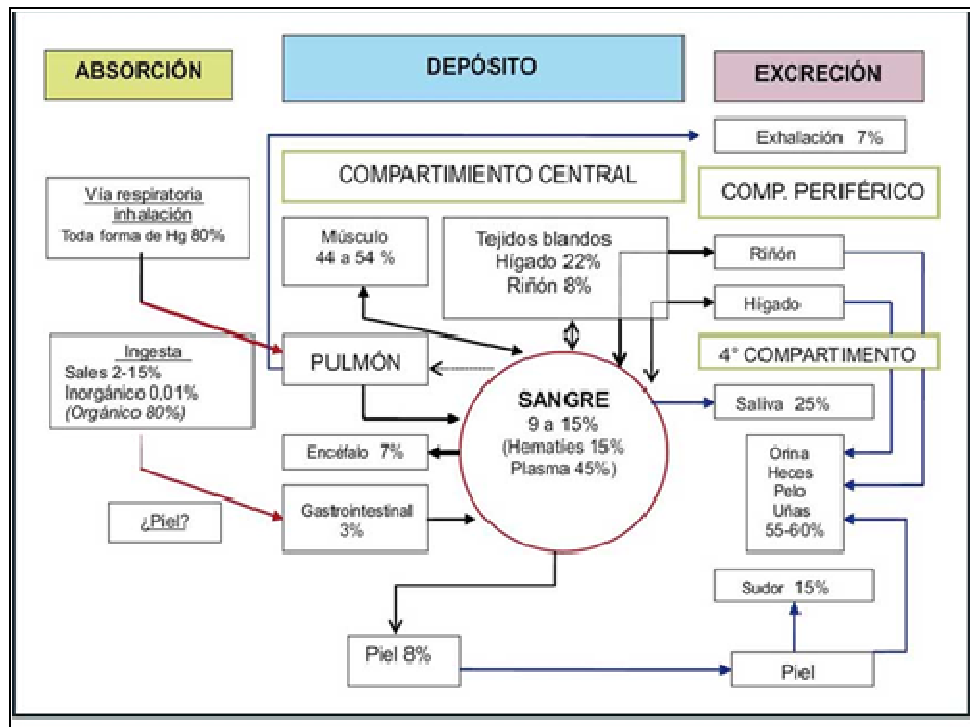
- a) Dosis.
- b) Duración de la exposición.
- c) Grado de oxidación del mercurio.
- d) Concentración de los compuestos de mercurio en los distintos compartimientos sanguíneos.
- e) Concentración en relación con los grupos sulfhídricos libres.
- f) Afinidad a los componentes celulares con el mercurio.
- g) Velocidad de asociación y disociación del complejo mercurio-proteína.

En las mujeres embarazadas el metilmercurio atraviesa la placenta y se concentra en el feto. La enfermedad congénita, afecta a los recién nacidos y se traduce por una parálisis cerebral con retraso mental, dificultades en la alimentación y un déficit motor importante. En los casos menos severos, los recién nacidos pueden parecer completamente normales y desarrollar los déficits neurológicos una vez madurado.

El metilmercurio se absorbe casi en su totalidad en la corriente sanguínea y se disemina en todos los tejidos en alrededor de cuatro días. Sin embargo, no se alcanzan los máximos niveles en el cerebro hasta los 5-6 días. En los seres humanos, la relación entre los niveles de sangre y cabello es de 1:250, con importantes variaciones individuales, figura 5.

La acción sobre los sistemas enzimáticos, el mercurio es toxico, porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente las neuronas e inhibe los grupos sulfhídrico de varias enzimas esenciales debido a esto altera varios sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y su pared e inhibe la síntesis de proteínas en la mitocondria, afectando su función energética (Ramírez, 2008).

Figura 5: Modelo toxico cinético del mercurio



Tomado de: Ramírez 2008

Los efectos neurotóxicos por la acumulación de mercurio en el organismo se han documentado después de los envenenamientos ocurridos en Japón e Irak, en los cuales las personas mostraban síntomas de temblor, entumecimiento de miembros y disturbios sensoriales entre otros, debido a la susceptibilidad única del cerebro al metilmercurio (Rodríguez., 2003).

Las relaciones dosis-efecto y dosis respuesta pueden ser modificadas por distintos factores como edad, sexo, estado nutricional, etc. Otros factores que modifican la toxicidad son la vitamina E y el alcohol. El efecto protector de la vitamina E está asociado a su poder antioxidante y está demostrado que aumenta la tolerancia al metilmercurio (Fernandez Bremutez, Yarto Ramirez, & Castro Diaz, 2004)

1.2.9 Normatividad del Mercurio en México

En México existe poca información de las emisiones de mercurio generadas, que han estado normadas desde 1998 únicamente para los incineradores de residuos peligrosos y biológico-infecciosos y para las plantas de cemento que utilizan residuos peligrosos como combustible complementario. Ninguna otra fuente está obligada a medir sus emisiones de mercurio o a analizar el contenido de mercurio en sus materias primas ni en sus residuos (Acosta Ruiz, 2001)

Los resultados de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNM) muestran niveles de mercurio en varios cuerpos de aguas, cercanos a límite máximo recomendado de 0.001mg/l. Se han detectado niveles de 0.5 y 1ug/L en diferentes ríos de la República Mexicana.

En un estudio realizado por el Cinvestav en 1994, fueron identificadas tres cuencas contaminadas con mercurio:

1) La cuenca del río Coatzacoalcos, el cual fluye por más de 220 kilómetros desde Oaxaca hasta el Golfo de México, en Veracruz, con niveles de mercurio hasta de 0.38 mg/l en la laguna Pajaritos

2) La cuenca del río San Juan que cubre partes de los estados norteros de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, hasta su desembocadura en el Río Bravo en la frontera de México con los EE.UU. La concentración más alta de mercurio detectada fue de 11 ug/L.

3) El sistema Lerma-Chapala-Santiago, y una de las cuencas más importantes del país que recibe las descargas de zonas industriales a su paso por varios estados hasta la presa Alzate en el Estado de México. En esta cuenca se han detectado niveles de mercurio de hasta 0.0021 ug/L (Yarto Ramirez, Gavilan Garcia, & Castro Diaz, 2004).

De acuerdo al reglamento de Control Sanitario de productos y Servicios en el Artículo 85. Se considera como zonas de producción y extracción prohibida, aquellas en las cuales la calidad del agua rebasa los límites máximos de contaminantes establecidos y por lo tanto, representa un riesgo para la salud del consumidor cuando:

- a) Estén contaminadas con aguas residuales domésticas, municipales, industriales, agrícolas, de embarcaciones, plataformas u otras instalaciones lacustres o marítimas.
- b) Estén afectadas por derrames de materiales que contengan sustancias tóxicas.
- c) Estén afectadas por residuos de material radiactivo
- d) Estén afectadas por biotoxinas naturales.

El agua que se destine al abastecimiento para los centros y granjas acuícolas, así como la que se destine para el cultivo en aguas marinas, lagunas costeras,

ríos, presas y lagos, no deberá rebasar los límites máximos, físicos, químicos y microbiológicos específicos para cada especie que se determinen en las normas correspondientes, sin perjuicio de lo establecido en los criterios ecológicos de calidad del agua (Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios., 2011)

Es importante mencionar que los límites de emisión para mercurio en México es de 0.07 mg/m³ (SEMARNAT, Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental- Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de contaminantes., 2004), de acuerdo a la NOM-098 SEMARNAT-2002.

Existe también la NOM-031-SSA1-1993, bienes y servicios, productos de la pesca moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados, especificaciones sanitarias, que tiene como campo de aplicaciones regular las especificaciones sanitarias de los productos de la pesca que marca como especificaciones para el mercurio elemental HgT 1.0 mg/kg y metilmercurio 0.5 mg/kg¹ (Secretaría de Salud., 1993)

A nivel internacional tanto la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos) como la FSA (Agencia de Alimentación Británica) han recomendado limitar el consumo de atún en lata en mujeres gestantes por su contenido en mercurio y su posible relación preventivo en los países donde sea el atún la especie mayormente consumida y casi únicamente, pero no en aquellos países en donde la variedad en el consumo de pescados es mucho más amplia (Rodríguez., 2003).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son los organismos encargados de establecer los límites máximos permitidos de contaminantes, lo que se conoce como la Ingesta Diaria Aceptable (ADI). Sin embargo, cada país

¹Este nivel es necesario para que en los casos en que el metilmercurio supere el nivel de referencia establecido sea rechazado el lote.

puede establecer los niveles máximos permitidos de contaminantes en los distintos alimentos. Así ocurre también con el mercurio: en 1988 las autoridades canadienses dividieron la ADI para este metal en alimentos por dos para el caso de niños y mujeres en edad fértil, mientras que casi al mismo tiempo la FDA norteamericana dividía por cinco la dosis semanal tolerable (Rodriguez M., 2003).

1.3 Estudios Relacionados.

Actualmente son pocos los estudios realizados sobre la contaminación por mercurio en pescado que se comercializan en el Estado de Nuevo León, México.

En la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se realizó un estudio donde analizaron selenio y mercurio en muestras de tiburón, marlín y atún en agua, donde para Hg total el contenido de 2 de las 3 muestras analizadas fue mayor al valor recomendado de 1 mg/kg por la Administración de Drogas y Alimentos de América (FDA). Los resultados se muestran en la cuadro 3 Contenido Total de Se y Hg encontrados en materiales de referencia y muestras de pescado (Guzman Mar, y otros, 2009).

Cuadro 3 Contenido Total de Se y Hg encontrados en materiales de referencia y muestras de pescado.

Muestra	Concentración de Se (mg/kg).*	Concentración de Hg (mg/kg)	Concentración Se/Hg
Tiburón	2.0 ± .01	3.78 ± 0.20	0.53
Marlín	3.9 ± 0.1	3.07 ± 0.17	1.27
Atún	5.6±0.2	0.94±0.05	5.95

Tomado de: (Guzman Mar, y otros, 2009)

*Base seca

En la Universidad Autónoma de Tamaulipas en México, se realizó una evaluación de riesgo a la salud por la presencia de metales pesados en dos especies de pescado provenientes del laguito de Nuevo Laredo, los resultados indican la presencia de mercurio HgT en casi todas las muestras analizadas, las concentraciones oscilaron de 0.025 a 550 mg/kg en ambas especies. (Ramos O, Guevara N, Macias B y Ortiz Y., 2004). Los resultados obtenidos se muestran en la cuadro 4.

Cuadro 4. Concentraciones de Fe, Zn, Mn, Cu, Hg, As, Cd, Cr (mg/kg*) en muestras de peces provenientes del Laguito, Nuevo Laredo, Tamps.

Especie	Fe	Zn	Mn	Cu	Hg	As	Cd	Cr
Bagre								
1	14	n.d	1	n.d	n.d			
2	n.d	7.5	n.d	n.d	0.05	n.d	n.d	n.d
3	402	n.d	8	5.0	2.9			
4	31	n.d	2	4.0	0.3			
5	139	n.d	10	4	2.9			
6	45	n.d	2	3	173			
7	n.d	6.6	n.d	n.d	0.08	n.d	n.d	n.d
8	10.75	7.5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
9	n.d	7.75	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
10	n.d	6.75	n.d	n.d	0.05	n.d	n.d	n.d
11	13	5.75	n.d	n.d	0.025	n.d	n.d	n.d
Tilapia								
12	n.d	7.2	n.d	n.d	11.58	n.d	n.d	n.d
13	6.5	14	n.d	n.d	5.15	n.d	n.d	n.d
14	8.25	13.5	n.d	n.d	0.125	n.d	n.d	n.d
15	48	n.d	3.0	3.0	550			
16	63	n.d	2.0	2.0	143			

Tomado de: (Ramos O, Guevara N, Macias B y Ortiz Y., 2004)

*Base húmeda; n.d = no disponible

En Abril de 2013 en México se realizó un estudio sobre el contenido de mercurio en tejidos de peces en 13 especies de 17 regiones, de las muestras analizadas 3 especies registraron niveles de Hg superiores a la norma canadiense de 0.5 ppm para pesca comercial (Bocuher., 2013)

En otro estudio en México se determinó el contenido de mercurio y arsénico en atún y sardinas enlatadas, de las 84 muestras de atún y sardinas de 6 marcas comerciales producidas, los contenidos mínimo y máximo de mercurio variaron de 0.18 a 4.52 y 0.14 a 4.74 mg/kg, con valores promedios de 1.23 y 0.74 mg/kg para atún y sardina, el 36% de las muestras de atún rebasaron los límites permitidos por la FDA (Food and Drug Administration) de Estados Unidos de América, los resultados se muestran en la cuadro 5 y cuadro 6 (Velasco O, Varria S, Perez M, Villanueva I., 2001)

Cuadro 5 Contenido de mercurio (mg/kg) en atún enlatado.

Marca	Promedio	Mínimo	Máximo	D. E
A	0.87	0.46	1.09	0.20
B	0.94	0.35	1.9	0.52
C	0.77	0.18	1.01	0.28
D	2.55	0.74	4.52	1.45
E	0.94	0.73	1.29	0.19
F	1.36	0.85	2.94	0.76
Promedio	1.23			0.93

Tomado de: (Velasco O, Varria S, Perez M, Villanueva I., 2001).

*D.E (desviación estándar).

Cuadro 6 Contenido de mercurio (mg/kg) en sardina enlatada.

Marca	Promedio	Mínimo	Máximo	D. E
A	0.70	0.34	1.30	0.40
B	0.47	0.40	0.56	0.06
C	0.53	0.14	1.25	0.40
D	1.28	0.50	4.74	1.53
E	0.58	0.30	0.92	0.27
F	0.88	0.47	1.53	0.42
Promedio	0.74			0.74

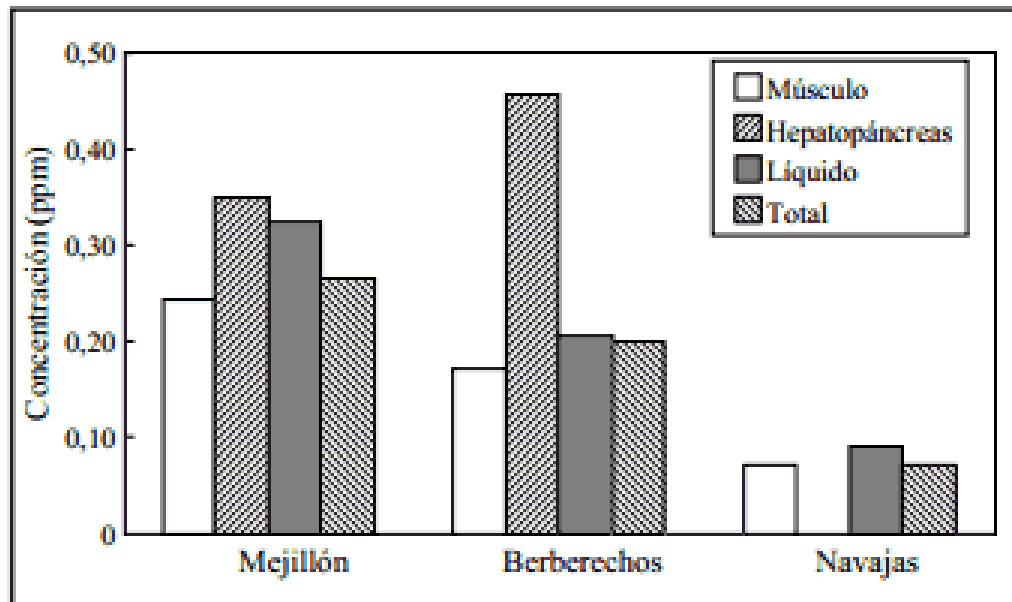
Tomado de: (Velasco O, Varria S, Perez M, Villanueva I., 2001)

*D.E (desviación estándar).

En el 2007 en España se determinó el contenido de mercurio en conservas de mejillones, barbechos y navajas comercializados en Galicia, donde teniendo en cuenta la legislación Europea que establece como contenido máximo para estos productos una concentración de 0.5 mg/kg solamente una muestra de

mejillones en escabeche presenta una concentración elevada (0.64 mg/kg) figura 6 (Garcia M.A, Diaz J, Loira L., Melgas M., 2007).

Figura 6. Concentración media de mercurio (ppm) en peso fresco.



Tomado de:(Garcia M.A, Diaz J, Loira L., Melgas M., 2007).

En un informe de la Seat Grant Collage Universidad de Illinois U.S.A, argumentan que de las especies comerciales de pescado nunca se debe de comer el pez dorado (*Carassius auratus*), pargo rayado del Golfo de México (*Lutjanus viridis*), pez espada (*Xiphias gladius*), tiburón (*Carcharhinus longimanus* y macarela real (*Scomber scombrus*), atún (*Thunnus thynnus*) (fresco o congelado), reloj anaranjado (*H. atlanticus*), Aguja o marlín (*Istiophoridae*), pargo *Lutjanus aratus*, por la presencia de mercurio (Dorworth L, Santerre C, Miller B., 2004).

2 Planteamiento del problema

¿Hay presencia de Hg en los pescados de mayor comercialización en el área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México?

¿Los pescados que se consumen en el área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León México, cumplen con la normatividad respectiva?

3 Justificación

Los pescados forman parte de la dieta del ser humano, son una fuente importante de proteínas, ácidos grasos y nutrientes esenciales, a la par la carne de pescado es una fuente potencial de contaminación por (Hg), donde el 80% se encuentra en forma de metilmercurio (CH^3Hg^+). (Guzman Mar, y otros, 2009). La seguridad alimentaria, desde la óptica de higiene e inocuidad, es uno de los grandes problemas para los países que no cuentan con suficiente tecnología y presentan deficiencias en cuanto a mano de obra especializada, inversiones e infraestructura tecnológica, así como graves problemas relacionados con la economía y la falta de educación en todos los niveles. (Cifuentes J, Torres P, Frias M., 2011).

La importancia radica en que el metilmercurio está presente en las cadenas alimenticias, las concentraciones en los peces depredadores pueden ser mayores que en el agua, por lo tanto es importante determinar la concentración de (HgT) en peces en lugares donde son consumidos (Ramos O, Guevara N, Macias B y Ortiz., 2006).

En México la producción pesquera y acuicultura, son asuntos de seguridad nacional, estudios realizados por el Instituto Nacional de Pesca muestran algunas pesquerías evaluadas se encuentran en estado de deterioro que esta asociado a deficiencias estructurales, rezago social en la producción pesquera,

limitaciones de carácter organizacional, tecnológico, de asistencia y capacitación (FAO, 2005).

En el Estado de Nuevo León, México, el consumo de pescado generalmente es en la comida, en los niveles socioeconómicos medio alto, medio superior y nivel socio económico alto, los incluyen en la cena, dado su conocimiento por adquirir alimentos sanos y nutritivos. En general las amas de casa y las que han tenido que cambiar hábitos alimenticios por recomendación médica está presente el pescado y de diez veces que se consumen alimentos, 2.2 en promedio son de pescado. (ITESM-Centro de Agronegocios., 2005)

El único instrumento legal que existe en México en cuanto a sistemas de supervisión para cualquier alimento es la NOM-051-SCFI-1994, establece las especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicos pre envasados, que se comercializan en el país, (SE, SSA, PROFECO, SHCP, 1994), la vigilancia de esta norma es llevada por la Secretaría de Economía (SE), la secretaria de salud (SSA), la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

4 Hipótesis

Ha: La concentración de mercurio total en pescado fresco que se comercializa en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México es mayor a 1 (mg/kg).

Ho: La concentración de mercurio total en pescado que se comercializa en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México es menor o igual a 1 (mg/kg).

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Determinar si hay presencia y estimar la concentración de mercurio total en cuatro especies de pescado que se comercializa en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

5.2 Objetivo Especifico

- a) Determinar si hay presencia de mercurio total en mojarra (*Oreochromis niloticus*), bagre (*Ameiurus Melas*), robalo (*Dicentrarchus labrax*) y pez sierra (*Scomberomorus sierra*).
- b) Estimar la concentración de mercurio total en cuatro especies de pescado de mayor consumo en el área metropolitana de Monterrey

6 Metodología

6.1 Diseño del estudio

Transversal - Analítico

6.2 Universo de estudio

Pescado fresco que se oferta en Pescaderías del Área Metropolitana de Monterrey Nuevo León, México.

6.3 Población de estudio

Especies de pescado fresco:

1. Mojarra (*Oreochromis niloticus*).
2. Bagre (*Ameiurus Melas*).
3. Robalo (*Dicentrarchus labrax*).
4. Pez Sierra (*Scomberomorus sierra*).

6.4 Criterios de selección

Criterios de inclusión: Piel brillante, escamas fuertemente adheridas, ojos brillantes y claros, carne firme que tiende al rebote, agallas de color rojo brillante.

Criterios de no inclusión: cuando presenta colores y olores no característicos a los criterios de inclusión.

6.5 Técnica muestral

No probabilística hasta completar el tamaño de la muestra.

6.6 Cálculo del tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula para la estimación de medias para población infinita con un nivel de confianza del 95% y un error no mayor de 5%. La muestra piloto demostró una concentración media de Hg de 0.1061 mg/kg, con una desviación estándar de ± 0.2374 mg/kg.

La expresión que resuelve el tamaño de muestra es:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2}$$

6.7 Variables

Cuantitativa: mg de mercurio/kg de pescado base húmeda.

6.8 Instrumentos de medición

En este apartado se presenta los materiales y equipos empleados para el desarrollo de la investigación.

6.9 Procedimiento

Se organizó en 6 actividades según se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

Figura 7 Diagrama de flujo para la determinación de HgT en muestras de pescado fresco.



6.9.1 Colecta de la muestra

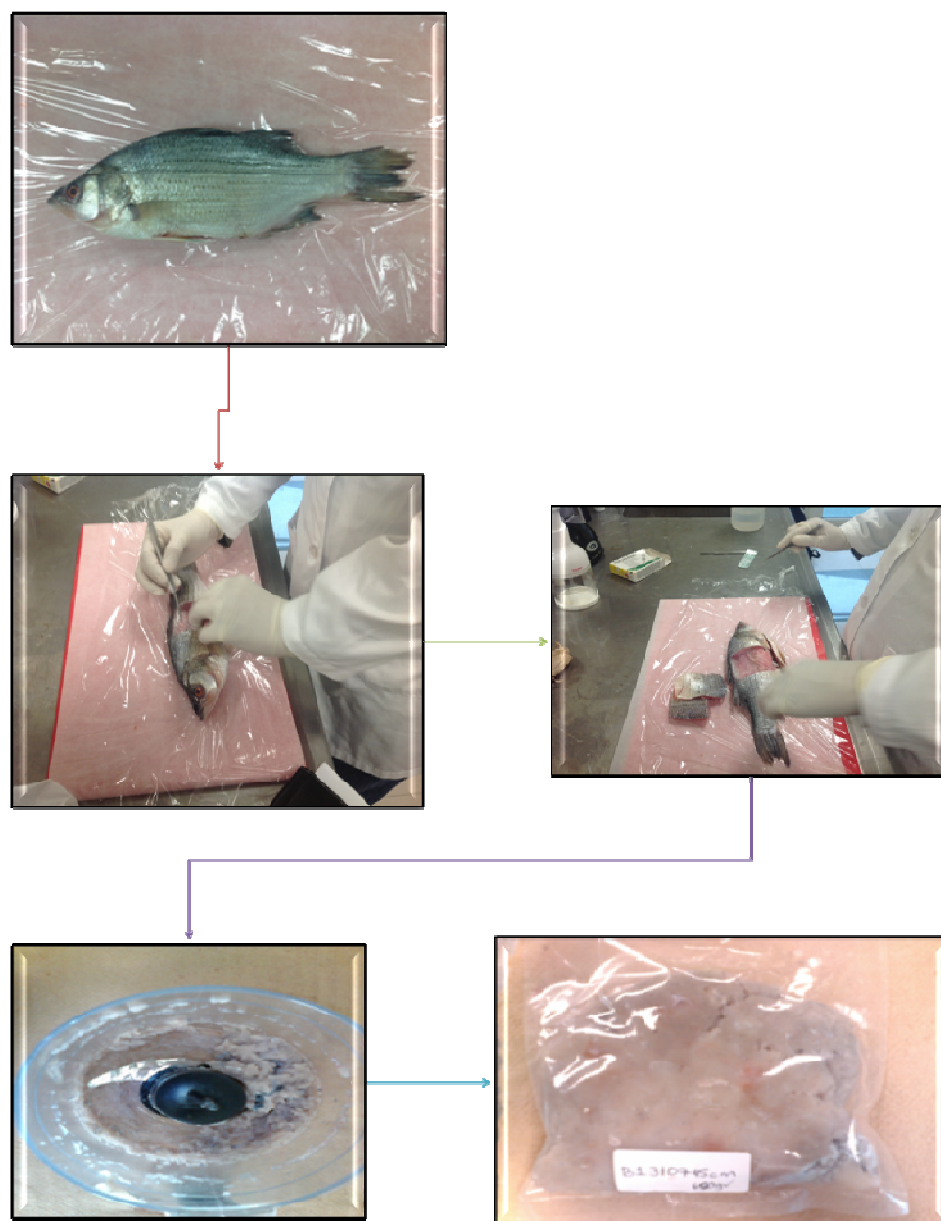
Durante el periodo de Junio-Agosto del 2013 fueron colectadas las muestras de pescado que se comercializan en diferentes pescaderías del Área Metropolitana

de Monterrey, hasta completar el tamaño de muestra para cada especie, donde se adquirieron como cualquier cliente y fueron trasladados al laboratorio en cadena de frío para evitar cualquier descomposición del pescado.

6.9.2 Homogenización de la muestra.

La homogenización de la muestra es muy importante ya que asegura una distribución total de los contaminantes, este paso se realizó con un procesador de alimentos de cuchillas de acero inoxidable marca Hamilton Beach, hasta obtener una pasta uniforme de la parte dorsal del pescado, posteriormente se depositó la muestra en bolsas para alto vacío, se identificaron y se almacenaron en ultra congelación a -28°C en el Laboratorio de Evaluación Sensorial y Desarrollo de Nuevos Productos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León Figura 7.

Figura 8 Diagrama de flujo del proceso de homogenización de la muestra.



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

6.9.3 Digestión de la muestra

La digestión ácida es el método tradicional utilizado para la preparación de muestras que puedan ser analizadas en forma líquida, su objetivo es destruir toda la materia orgánica y convertir los metales de interés a su forma elemental. Este paso se realizó en un horno de microondas de alta presión de múltiples etapas en marca CEM - Corporation modelo MARS-5 con un programa de retroalimentación para controlar la temperatura y la presión (cuadro 7) (Programa de digestión de CEM MARS 5) donde se pesó 0.5 g de la muestra base húmeda y se le añadieron 5 mL de HNO₃ concentrado + 1 % de NaCl (p/v), posterior a este paso se sellaron herméticamente los vasos y se procedió a realizar el proceso de digestión figura 8 (Cheng J, Hight S., 2008).

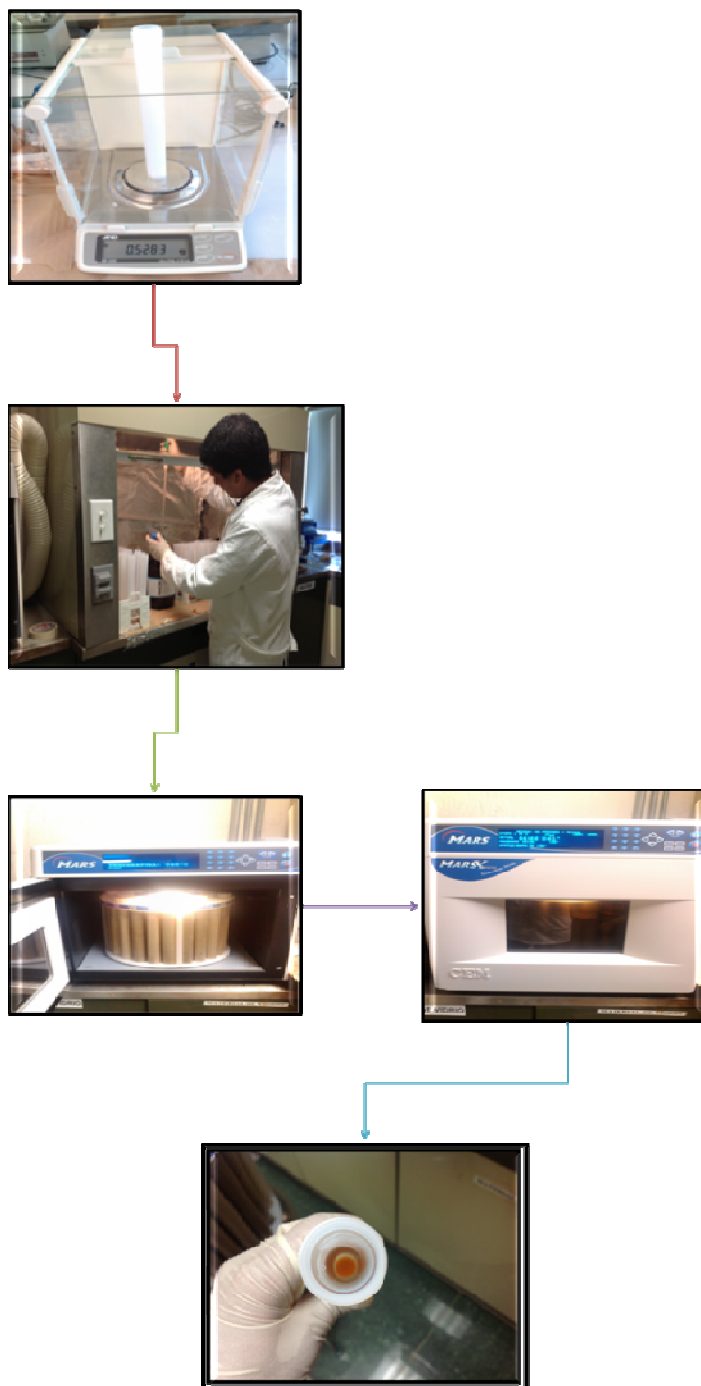
Después de terminar las dos etapas y el proceso de enfriamiento, se retiraron los vasos de teflón y se verificaron visualmente las digestiones que deben de tener un color claro, incoloro, ligeramente amarillo, si existe turbidez o partículas carbonizadas la digestión está incompleta y se debe de desechar las muestras, muestra digerida por horno de microondas de doble etapa figura 9.

Cuadro 7 Parámetros de digestión por microondas.

Parámetros	Etapa	
	1	2
Potencia máxima (W)	300	1200
Control de presión (psi)	800	800
Tiempo de rampa (min)	5	20
Tiempo de retención (min)	0	3
Control de la temperatura (°C)	130	200

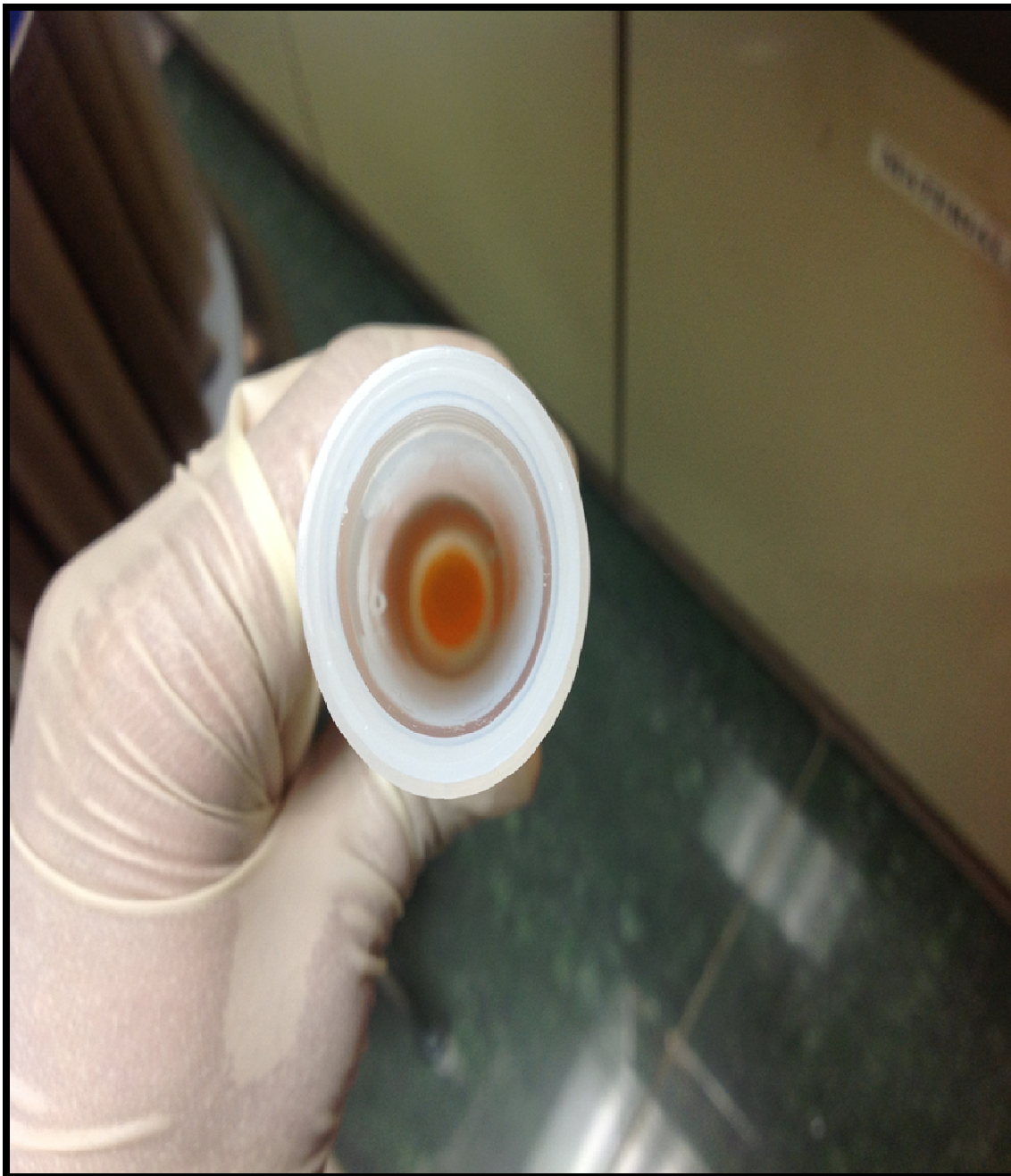
Fuente: FDA U.S Food And Drug Administration

Figura 9 Diagrama de flujo del proceso de digestión de la muestra



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

Figura 10 Muestra digerida por horno de microondas de doble etapa.



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

6.9.4 Preparación del Analito

Una vez obtenida la digestión de la muestra, se le añadieron 3.5 mL de HCL concentrado, y se aforo a 50 mL con agua bi-distilada en tubos de polipropileno nuevos para evitar alguna contaminación o trazas de otros elementos que pudieran intervenir en las lecturas del elemento de interés, figura 11.

Figura 11 Muestra digerida de pescado.



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación.

a) Análisis del elemento a determinar por espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros.

El análisis de la muestra se realizó bajo la metodología propuesta por la FDA U.S Food And Drug Administration en espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (Cheng J, Hight S., 2008), donde se utilizó un generador de hidruros marca Unicam modelo PV 90 acoplado a un espectrofotómetro marca Thermo Elemental modelo 6 Mk2 System, la reducción de la muestra se hizo con ácido clorhídrico alta pureza y cloruro estañoso alta pureza con el objetivo de convertir el mercurio presente en el analito a vapor de mercurio Hg^0 , que es trasladado hacia la celda de cuarzo por medio de un gas de arrastre (argón alta pureza), el equipo fue calibrado con una curva de calibración de 1, 3, 5 y 20 ppm, a partir de una solución de mercurio certificada de 1000 ppm.

b) Cálculos para la estimación de la concentración de mercurio.

$$\text{Concentration (mg/kg)} = ((S \times DF) - MBKL) \times V / m \times MCF$$

(Cheng, 2008)

Donde:

S =	Concentración del analito.
MBKL=	Muestra de referencia MBK (µg/L)
V=	Volumen del analito
M=	Porción de la muestra en la solución.
DF=	Factor de dilución.
MCF=	Factor de corrección

6.9.5 Control de calidad de la técnica empleada.

La calidad de los análisis en esta investigación fue determinada por el análisis del material de referencia certificada por la Food and Environment Research Agency con un rango de 330-691 mg/kg, donde los valores obtenidos están dentro de los límites de referencia.

Durante todo el proceso de digestión y cuantificaciones en los 7 lotes de muestras, se utilizaron muestras blancos que se sometieron al proceso de digestión normal esto para asegurar la limpieza de los vasos de digestión, además se utilizaron blancos fortificados y una matriz de concentración conocida certificada, así mismo, todos los reactivos que se utilizaron fueron grados AP (alta pureza) y se consideró material nuevo y estéril durante todos los procedimientos.

La curva de calibración se elaboró a partir de un estándar de mercurio (Ricca Chemical) con una concentración de 1000 mg/L, a partir de este se preparó una solución intermedia de 100 mg/L, posteriormente se preparó una segunda solución de 1 mg/L y se utilizó para la curva de calibración de: 0.001, 0.003, 0.005, 0.010 y 0.020 mg/L de concentración de Hg.

Para la aceptación de la curva se utilizó el coeficiente de determinación (r^2), el cual tiene que ser $\geq 0.995 \leq$ en caso de que el valor obtenido fuera menor se procedía a preparar nuevamente la curva.

Los blancos fortificados, es la solución que se prepara a partir de una alícuota del blanco de reactivos, añadiendo una alícuota de la solución estándar concentrada "solución madre", para dar una concentración final que produzca una absorbancia aceptable para el analito. El blanco fortificado, continuó el mismo esquema de digestión y preparación de la muestra. Se les adicionaron una concentración conocida de 1 mg/L de Hg.

6.10 Plan de análisis

Con los datos obtenidos de las concentraciones de HgT se desarrollo una base de datos para ser analizados en el programa estadístico NCCS 9 (Hintze, J. 2013).

Después del análisis estadístico descriptivo, se observó que los datos no presentaron distribución normal, por lo tanto se sometieron a un análisis no paramétrico, a través de comparación múltiple de Kruskall Wallis a fin de determinar diferencias significativas de las concentraciones de mercurio total de las especies analizadas con respecto a la NOM-031-SAA1-1993 así como entre las especies analizadas.

7 Resultados

Se determinó el tamaño de muestra para analizar HgT en pescado fresco por espectrofotometría de absorción atómica en 0.5 g por especie.

Se detectó presencia de mercurio en todas las especies de pescado analizadas, las concentraciones más altas se presentaron en la especie de bagre (*Ameiurusmelas*) (0.3361 ± 0.3336) seguido de las especies Pez sierra (*Scomberomorus sierra*) (0.1965 ± 0.2463), Robalo (*Dicentrarchuslabrax*) (0.1567 ± 0.0906) y Mojarra (*Oreochromisniloticu*) (0.2380 ± 0.1881) presentaron concentraciones más bajas de mercurio total, en ninguna de las especies, analizadas los datos obtenidos no proporcionan evidencia que rechace la hipótesis nula donde el nivel de mercurio total en pescado fresco es menor e igual a 1 (mg/kg) recomendado por la Norma Oficial Mexicana NOM-031-SAA1-1993 cuadro 9.

Cuadro 8 Estadística descriptiva de la concentración de Mercurio Total* según especies de pescados.

Especie	Tamaño de muestra	Media \pm 1DE	Mediana IC ₉₅ L.I-----L.S
Mojarra <i>(Oreochromisniloticus)</i>	11	0.2380 ± 0.1881	0.1935** (0.1409-0.2469)
Robalo <i>(Dicentrarchuslabrax)</i>	31	0.1567 ± 0.0906	0.1338** (0.1034-0.1627)
Bagre <i>(Ameiurusmelas)</i>	24	0.3361 ± 0.3336	0.2284** (0.1067-0.4032)
Pez sierra <i>(Scomberomorus sierra).</i>	10	0.1965 ± 0.2463	0.1078** (0.0550-0.4323)

Fuente: NCCS 9 (Hintze, J. (2013).

* mg/Kg base húmeda;

** P<0.05

A partir de los valores de HgT que se sitúan en el percentil 50 en las especies analizadas, la especie Bagre (*Ameiurusmelas*) tiene los valores de mayor

concentración, le siguen las especies Pez Sierra (*Scomberomorus sierra*), Mojarra (*Oreochromis niloticus*) y Robalo (*Dicentrarchus labrax*). Cuadro 10.

Cuadro 9 Distribución percentilar de la concentración de Mercurio Total* según Especies analizadas

Espece	p25 (IC ₉₅) LI-----LS	p50 (IC ₉₅) LI-----LS	p75 (IC ₉₅) LI-----LS	P90 (IC ₉₅) LI-----LS
Mojarra (<i>Oreochromis niloticus</i>)	0.14 (0.13-0.18)	0.20 (0.15-0.28)	0.24 (0.20-0.28)	0.43 (0.25-0.85)
Robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	0.10 (0.11-0.14)	0.13 (0.11-0.14)	0.20 (0.15-0.22)	0.30 (0.22-0.39)
Bagre (<i>Ameiurus melas</i>)	0.10 (0.08-0.13)	0.23 (0.14-0.28)	0.44 (0.31-0.56)	0.90 (0.55-1.32)
Pez sierra (<i>Scomberomorus sierra</i>)	0.06 (0.03-0.08)	0.10 (0.08-0.14)	0.15 (0.13-0.77)	0.73 (0.14-0.85)

Fuente: NCCS 9 (Hintze, J. (2013).

* mg/Kg base húmeda.

Dado que la distribución de los valores de las concentraciones de HgT no presentó distribución normal, la comparación de medias se realizó por comparación múltiple de Kruskal-Wallis. Los resultados muestran que los datos no son compatibles con la hipótesis de no diferencia en las concentraciones de HgT entre algunas de las especies analizadas pero sirven de apoyo para apoyar la hipótesis de diferencia en las concentraciones de HgT entre algunas especies cuadro 11.

Cuadro 10 Estadística inferencial* de las concentraciones de HgT en especies de pescado.

Espece	Mojarra (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Bagre (<i>Ameiurus melas</i>)	Pez sierra (<i>Scomberomorus sierra</i>)
Mojarra (<i>Oreochromis niloticus</i>)	0			
Robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	0.2002 [¥]	0		
Bagre (<i>Ameiurus melas</i>)	2.0274 [¥]	1.8295	0	
Pez sierra (<i>Scomberomorus sierra</i>)	2.1248 [¥]	2.0331 [¥]	3.6432 [¥]	0

¥ Significativo p < 0.05. *Kruskal-Wallis comparación múltiple de valor de Z (prueba de Dunn's)

8 Discusión

Los valores más altos en las especies analizadas se presentaron en el bagre (*Ameiurusmelas*), el valor promedio fue de 0.3361 ± 0.3336 mg/kg y en el pez sierra el promedio fue de 0.1965 ± 0.2463 mg/kg. (Cuadro 9)

Los valores más bajos en las especies analizadas se presentaron en la mojarra (*Oreochromisniloticus*) el valor promedio fue de 0.2380 ± 0.1881 mg/kg y en el robalo (*Dicentrarchuslabrax*) el promedio fue de 0.1567 ± 0.0906 mg/kg. (Cuadro 9)

La concentración de HgT presente en las 76 muestras analizadas fue mayor a cero, lo cual indicó presencia de este elemento.

La muestra 24 de la especie de bagre (*Ameiurusmelas*) presentó en promedio 1.3815 mg/kg de HgT el cual fué mayor al límite máximo permitido (1.0 mg/kg) según la NOM-031-SSA1-1993. La Norma Internacional del Codex Standard 193-1995, de la OMS establece un límite de 1.0 mg/kg de mercurio total., además, la muestra 20 de la especie bagre (*Ameiurusmelas*) con una concentración de 0.9689 mg/kg, muestra 22, con 0.8769 mg/kg.y la muestra 1 de la especie pez sierra (*Scomberomorus sierra*) con de 0.8177 mg/kg, presentaron valores cercanos al límite máximo permitido por las normatividades anteriormente señaladas.

Considerando que las muestras fueron colectadas del mismo sitio comercial, es importante señalar lo siguiente: las muestras provenían de distintos lugares geográficos del Golfo de México, por lo que se podría establecer que probablemente el sitio de captura presente niveles de contaminación por HgT.

Aunque la concentración en las muestras analizadas fue menor al límite máximo permitido al comerse este tipo de alimento su contaminante se absorbe

y se incorpora en el metabolismo humano y está documentado que puede acumularse. Esta apreciación conduce a reflexionar que en un futuro no lejano se puede presentar un problema de salud pública en individuos susceptibles.

9 Conclusiones

1. Los resultados de la investigación indicaron que hay presencia de mercurio total en mojarra, robalo, bagre y pez sierra proveniente del golfo de México.
2. En general, la concentración de mercurio total en las muestras analizadas fue menor de 1.0 mg/kg y cumplen con la normatividad nacional e internacional establecida.
3. La mayor concentración de HgT se presentó en el Bagre (*Ameiurusmelas*) con un valor de 1.3815 mg/kg, este valor se encuentra sobre el máximo permisible establecido por la NOM 031 SSA1 1993 y la menor concentración en la Mojarra (*Oreochromisniloticus*) fue de 0.2380 mg/kg valor considerado dentro de la misma norma.
4. El tamaño de muestra óptimo para analizar pescado fresco por espectrofotometría de absorción atómica fue de 0.5 g por especie.

10 Trabajos citados

- Acosta Ruiz, G. (2001). *Inventario Preliminar de Emsiones Atmosfericas de Mercurio en Mexico*. Mexico D.F: Comision para la Cooperacion Ambiental.
- BANHG, P. (2007). *Mercurio: Cartilla de Informacion*.
- Bocuher., d. G. (2013). *Informe resumido sobre el contenido de mercurio en tedjidos de peces de Mexico*. Mexico.: Comision para la Cooperacion Nacional.
- CEPAL. (2011). *El perfil epidemiologico de America Latina y el Caribe, limites y acciones*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Cheng J, Hight S. (2008). *FDA U.S Food and Drug Administration*. Recuperado el 07 de 04 de 2013, de <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm205040.htm>
- Cifuentes J, Torres P, Frias M. (25 de Octubre de 2011). *La Pesca en Mexico*. Obtenido de Ciencia para todos.: <http://portal.semarnat.gob.mx/semarnat/portal>
- Cifuentes Lemus, J. L., Torres Garcia, M. d., & Frias M, M. (1997). *El Oceano IX. La Pesca*. Recuperado el 17 de 11 de 2012, de Biblioteca Digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicacion Educativa: <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/081/htm/oceano.htm>
- Colaboradores, G. y. (2010). Analisis de especies de selenio y mercurio en muestras de pescado. *RESPYN*, No. 1.
- CONAPO. (2007). *Principales causas de mortalidad en Mexico*. Mexico 2010.

- Departamento de Pesca Y Acuicultura. (25 de Noviembre de 2011). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y Agricultura*. Recuperado el 10 de 12 de 2012, de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es
- Doadrio, V. (2004). Ecotoxicologia y accion toxicologica del mercurio. 933-959.
- Dorworth L, Santerre C, Miller B. (2004). *Contaminantes en pescados y mariscos*. Illinois-Indiana: Universidad de Illinois.
- Español., C. S. (26 de Noviembre de 2011). *Toxicologia del mercurio*. Almaden, España. Obtenido de <http://www.gama-peru.org/jornada-hg/espanol.pdf>
- Fernandez Bremutez, A., Yarto Ramirez, M. A., & Castro Diaz, J. (2004). *Las Sustancias Toxicas Persistentes*. Mexico D.F.: INE.
- Fernandez, Gutierrez, Uribe. (2012). Principales causas de mortalidad infantil en Mexico: tendencias recientes. *Bol Med Hosp Infantil en Mexico*, 144-148.
- Galvao, L., & Corey, G. (1987). *Serie de vigilancia 7 Mercurio*. Metepec, Mexico: Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud.
- Garcia M.A, Diaz J, Loira L., Melgas M. (2007). Contenido de mercurio en conservas de mejillones, berbecos y navajas comercializadas en Galicia España. *Ciencias y Tecnologia Alimentaria.*, 379-383.
- Goldwater, L. (1972). Mercury; a history of quicksilver. En L. Goldwater, *Mercury; a history of quicksilver*. Baltimore E.E.U.A.
- Guzman Mar, J. L., Hinojosa Reyes, L., Hernández Ramírez, A., Peralta Hernández, J. M., Rahman, M., & Kingston, H. (2009). Analisis de especies de selenio y mercurio en muestras de pescado. *RESPYN*.
- Hintze, J. (2013). *NCCS 9*. Kaysville, Utah, USA.

- Hurtado., R. (2010). *Determinacion de mercurio total en higado y musculos de tiburones provenientes de las pesquerias de Sonora Y Sinaloa*. Sonora.: Tesis.
- ITESM-Centro de Agronegocios. (2005). *Estudio de mercado en el Area Metropolitana de Monterrey para las especies acuicolas de relenvancia en el estado de Nuevo Leon*. Monterrey Nuevo Leon.
- Molina Castaño, C. F., Arango Alzate, C. M., & Serna, G. M. (2003). Mercurio: implicaciones en la salud y en el medio ambiente. *Retel*, 7-19.
- Navarrete., F. A. (01 de 01 de 2010). Mercurio y Metilmercurio. Recuperado el 13 de 11 de 2013, de Organizacion Panamericana de la Salud: <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>
- Olivero Verbel, J., & Jhonson Restrepo, B. (2002). *El lado gris de la mineria de oro: La contaminacion con mercurio en el norte de colombia*. Impresion Alpha impresores Ltda.
- OMS. (2013). *El mercurio y la salud*.
- Osores Plenge, F., Grandez Urbina, J. A., & Fernandez Luque, J. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios Peru. *Scielo Peru*, 310-314.
- PNUMA. (2002). *Evaluacion mundial sobre el mercurio*. Ginebra, Suiza.
- Ramirez Alvarez, J. A., Castro Diaz, J., & Eden Winter, R. A. (2000). *Diagnostico de Mercurio en México*. Mexico.
- Ramirez, V. A. (2008). Intoxicacion ocupacional por mercurio. *American College Of Occupational and Enviromental Medicine.*, 46-51.
- Ramos O, Guevara N, Macias B y Ortiz Y. (2004). Evaluacion de Riesgo a la Salud por la Presencia de Metales Pesados en Pescado de el "Laguito" de Nuevo Laredo Tamaulipas. *Unidad Academica Multidisciplinaria de Agronomia y Ciencias*.

- Ramos O, Guevara N, Macias B y Ortiz. (2006). *Evaluación de riesgo a la salud por la presencia de metales pesados en pescado de el Laguito de Nuevo Laredo Tamaulipas*. Mexico.
- Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. (01 de 12 de 2011). *Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios*. Mexico D.F. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rcsps.html>
- Repetto, M. (1995). *Estado actual de la toxicología del mercurio en toxicología avanzada*. Madrid: Diaz de Santos.
- Rodriguez., M. M. (2003). *El mercurio y sus riesgos*. Barcelona.
- SE,SSA,PREFECO,SHCP. (1994). *NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI-1994*. Mexico, D.F.
- Secretaria de Salud. (1993). *Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, Bienes y Servicios, productos de la pesca, moluscos bivaldos frescos-refrigerados y congelados, especificaciones sanitarias*. Mexico D.F: Diario Oficial.
- SEMARNAP. (1996). *Lo que usted debe saber del mercurio y su situacion en America del Norte*. Mexico D.F.
- SEMARNAT. (2004). *NOM-008-SEMARNAT-2002* . Mexico, D.F: Diario Oficial de la Federacion.
- SEMARNAT. (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Proteccion ambiental- Incineracion de residuos, especificaciones de operacion y limites de contaminantes*. Mexico, D.F: Diario Oficial.
- Sepulveda Gallego, L. E., Agudelo Gallego, L. M., & Arengas Castilla, A. I. (2006). *El mercurio, sus implicaciones en la salud y en el medio ambiente*.

- Vazques F, Florvilee A, Herrera M, Diaz de leon L. (2004). Metales pesados en tejido muscular del Bagre *Ariopsis felis* en el sur de Golfo de Mexico. 52-59.
- Vazquez Salas, C. (2008). Especiacion de mercurio en el medio ambiente. *Dialnet*, 37-41.
- Velasco O, Varria S, Perez M, Villanueva I. (2001). Contenido de mercurio y arsenico en atun y sardinas enlatadas enlatadas mexicanas. *rev, int contaminacion ambiental*, 31-35.
- Velasco., G. ., Pérez., L. M., Villanueva., F. I., & Echavarría., A. S. (2001). Contenido de mercurio y arsenico en atun y sardinas enlatadas enlatadas mexicanas. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 31-35.
- Velazquez Monroy, M. d., & Ordorica, V. M. (2013). *Composicion Quimica del Organismo*. Recuperado el 29 de 09 de 2013, de www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad10.pdf
- Villanueva F, S., & V Botello, A. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano. *Rev. Int. de Contaminacion Ambiental.*, 47-61.
- Yarto Ramirez, M., Gavilan Garcia, A., & Castro Diaz, J. (2004). La contaminacion por mercurio en Mexico. *Gaceta Ecologica*, 21-34.

11 Anexos

**Cuadro 11 Valores de la concentración para el percentil en Mojarra
(*Oreochromis niloticus*)**

Valor percentil	Mediana	Intervalo de confianza		Nivel de confianza
		95% LI	95% LS	
90	0.43	0.25	0.85	95.3962
75	0.24	0.20	0.28	96.8043
50	0.19	0.15	0.21	95.2969
25	0.14	0.13	0.18	96.8043

**Cuadro 12 Valores de la concentración para el percentil en Robalo
(*Dicentrarchus labrax*)**

Valor percentil	Mediana	Intervalo de confianza		Nivel de confianza
		95% LI	95% LS	
90	0.30	0.22	0.39	96.47438
75	0.19	0.15	0.22	95.66456
50	0.13	0.11	0.14	95.05499
25	0.10	0.09	0.11	95.84956

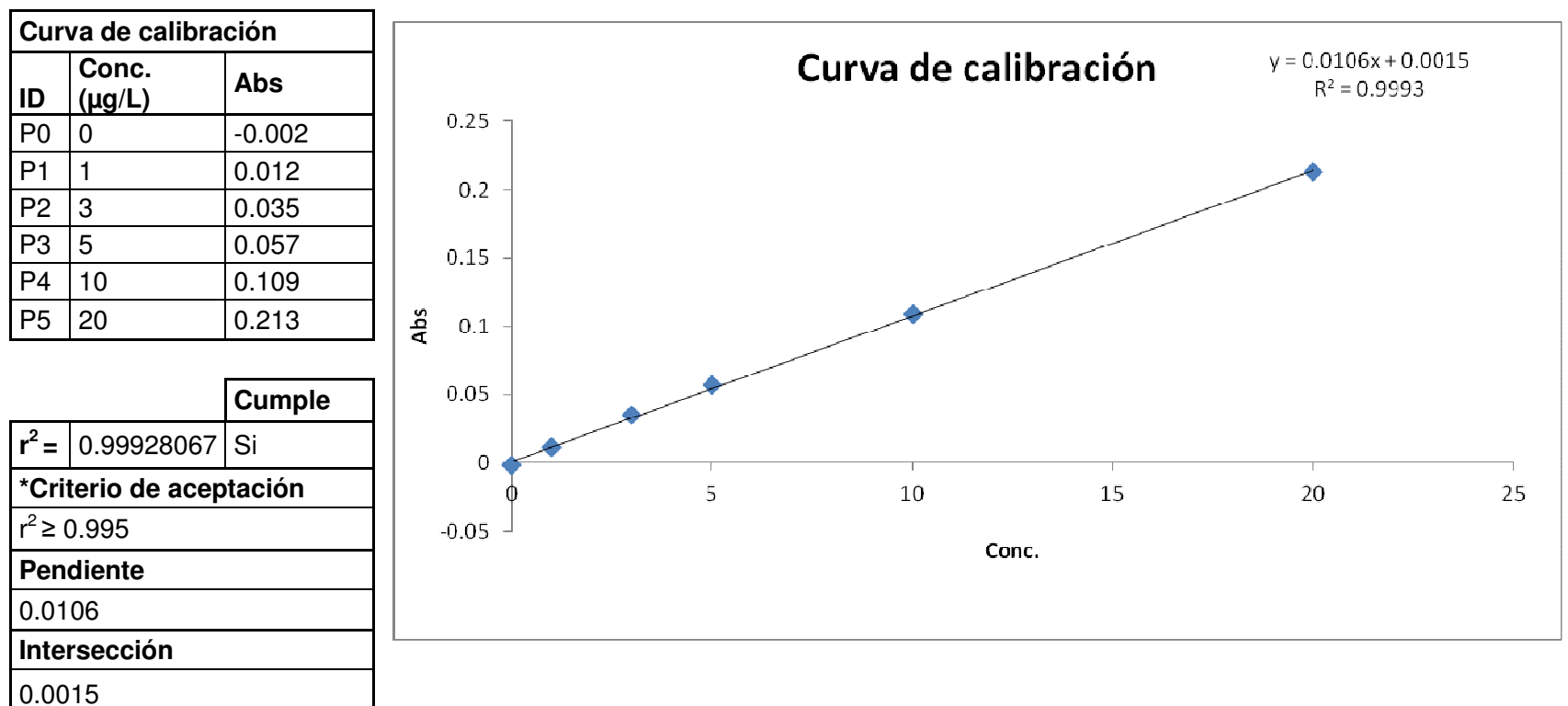
**Cuadro 13 Valores de la concentración para el percentil en Bagre
(*Ameiurus Melas*)**

Valor percentil	Mediana	Intervalo de confianza		Nivel de confianza
		95% LI	95% LS	
90	0.90	0.55	1.32	95.4039
75	0.44	0.31	0.56	96.0001
50	0.23	0.14	0.28	95.5629
25	0.10	0.08	0.13	96.0001

**Cuadro 14 Valores de la concentración para el percentil en Pescado Sierra
(*Scomberomorus sierra*)**

Valor percentil	Mediana	Intervalo de confianza		Nivel de confianza
		95% LI	95% LS	
90	0.73	0.14	0.85	95.5589
50	0.10	0.08	0.14	95.7226
25	0.06	0.03	0.08	96.7810

Figura 12 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 1.

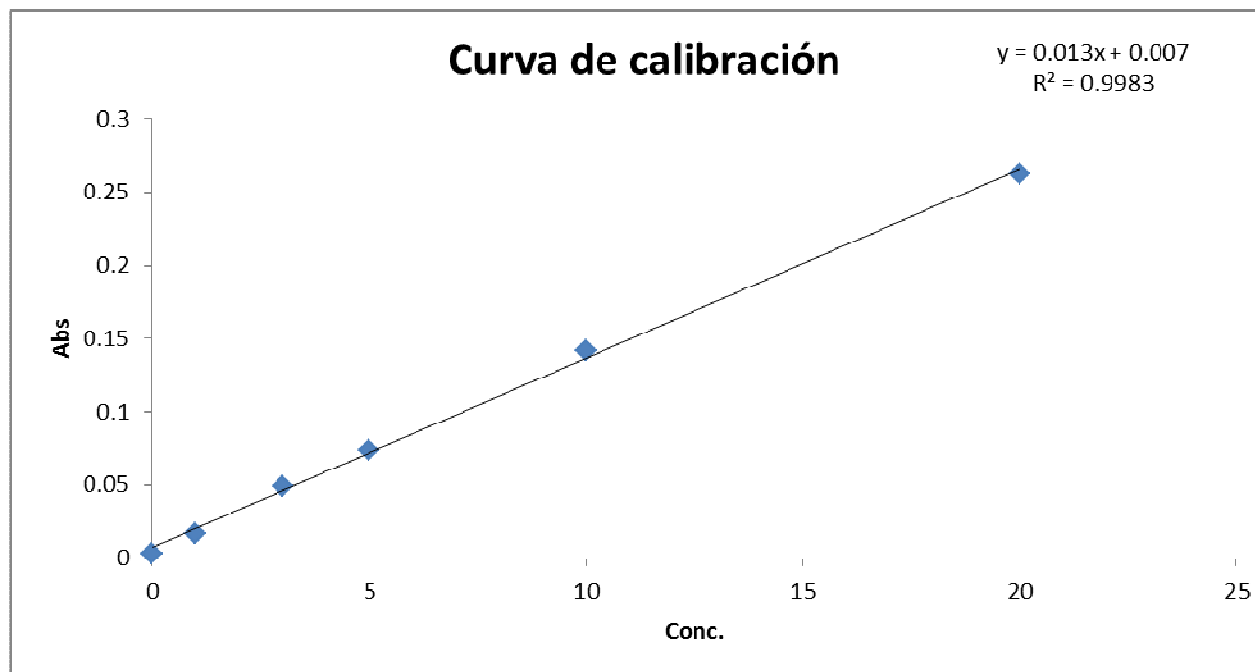


Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 13 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 2

Curva de calibración		
ID	Conc. (µg/L)	Abs
P0	0	0.003
P1	1	0.017
P2	3	0.049
P3	5	0.074
P4	10	0.142
P5	20	0.263

		Cumple
r^2 =	0.99834307	Si
*Criterio de aceptación		
$r^2 \geq 0.995$		
Pendiente		
0.0130		
Intersección		
0.0070		

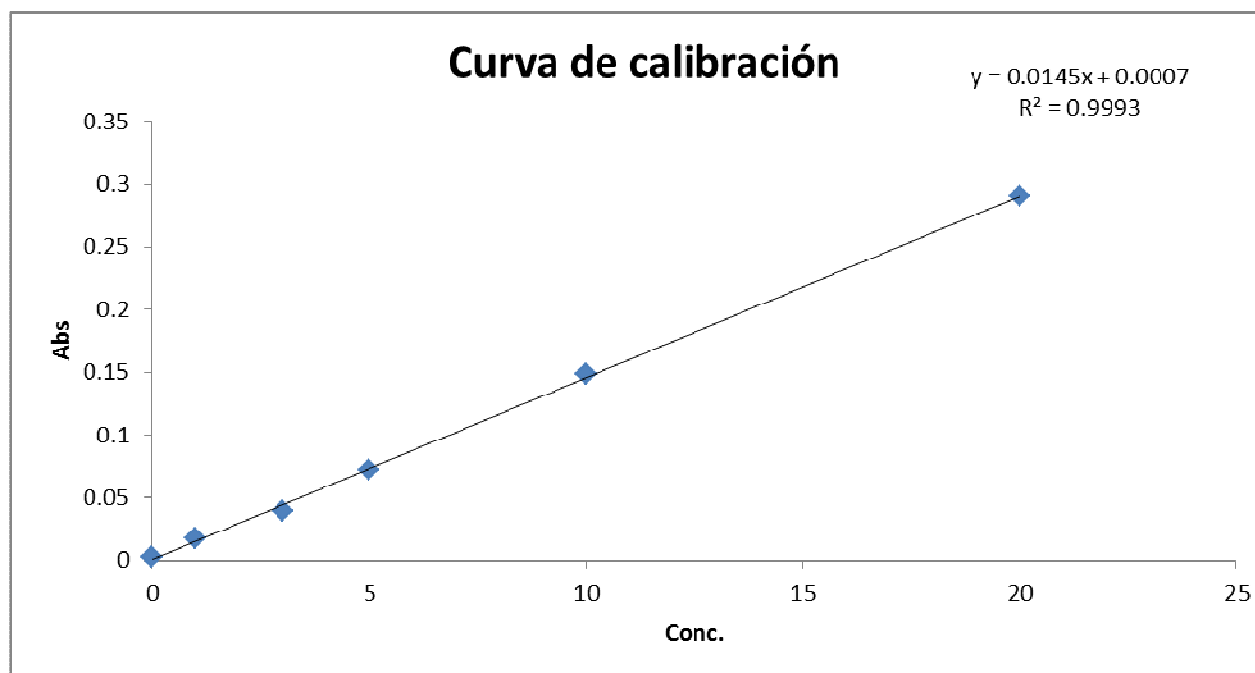


Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 14 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 3

Curva de calibración		
ID	Conc. (µg/L)	Abs
P0	0	0.0025
P1	1	0.0172
P2	3	0.0393
P3	5	0.0719
P4	10	0.1484
P5	20	0.2902

		Cumple
r^2 =	0.99931637	Si
*Criterio de aceptación		
$r^2 \geq 0.995$		
Pendiente		
0.0145		
Intersección		
0.0007		

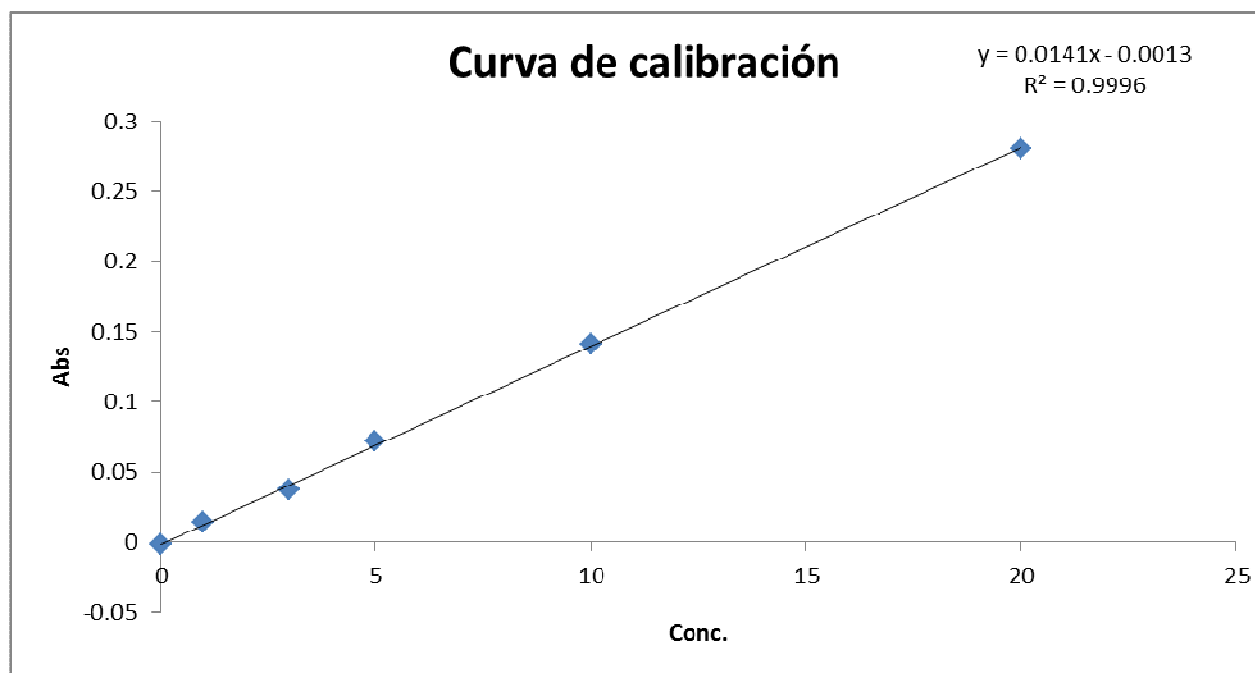


Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 15 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 4

Curva de calibración		
ID	Conc. (µg/L)	Abs
P0	0	-0.0019
P1	1	0.014
P2	3	0.0374
P3	5	0.0722
P4	10	0.1409
P5	20	0.2804

		Cumple
r^2 =	0.99955393	Si
*Criterio de aceptación		
$r^2 \geq 0.995$		
Pendiente		
0.0141		
Intersección		
-0.0013		

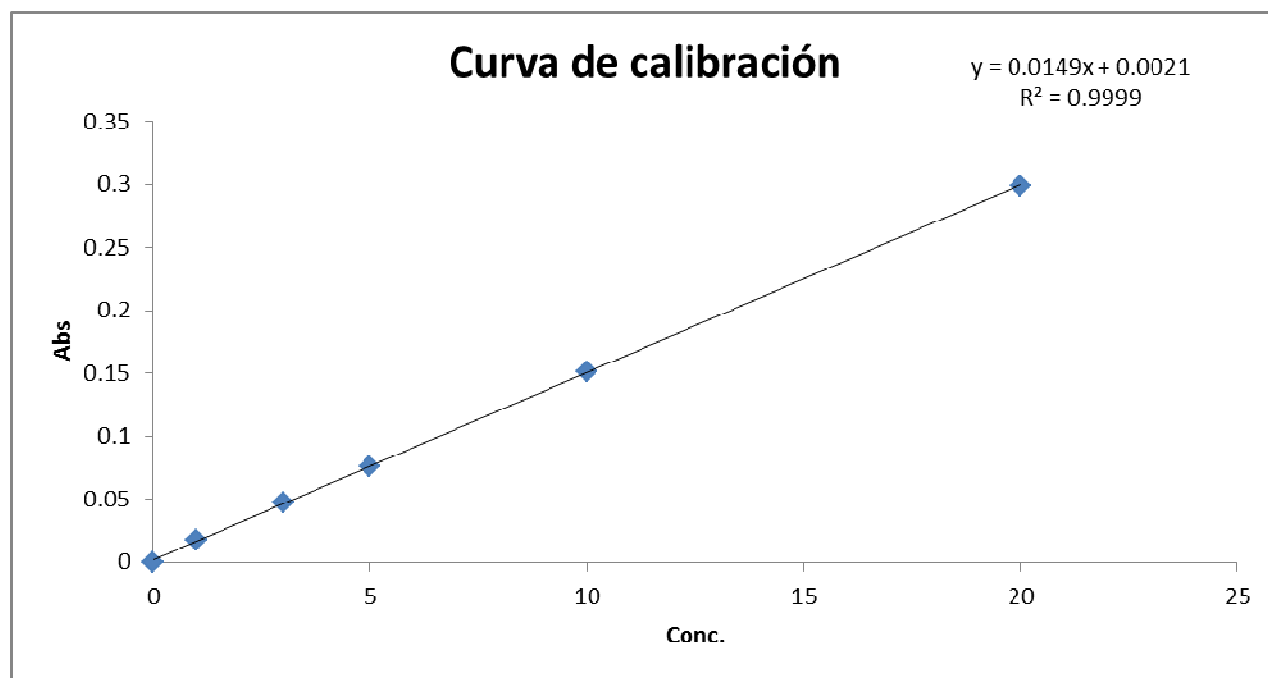


Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 16 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 5

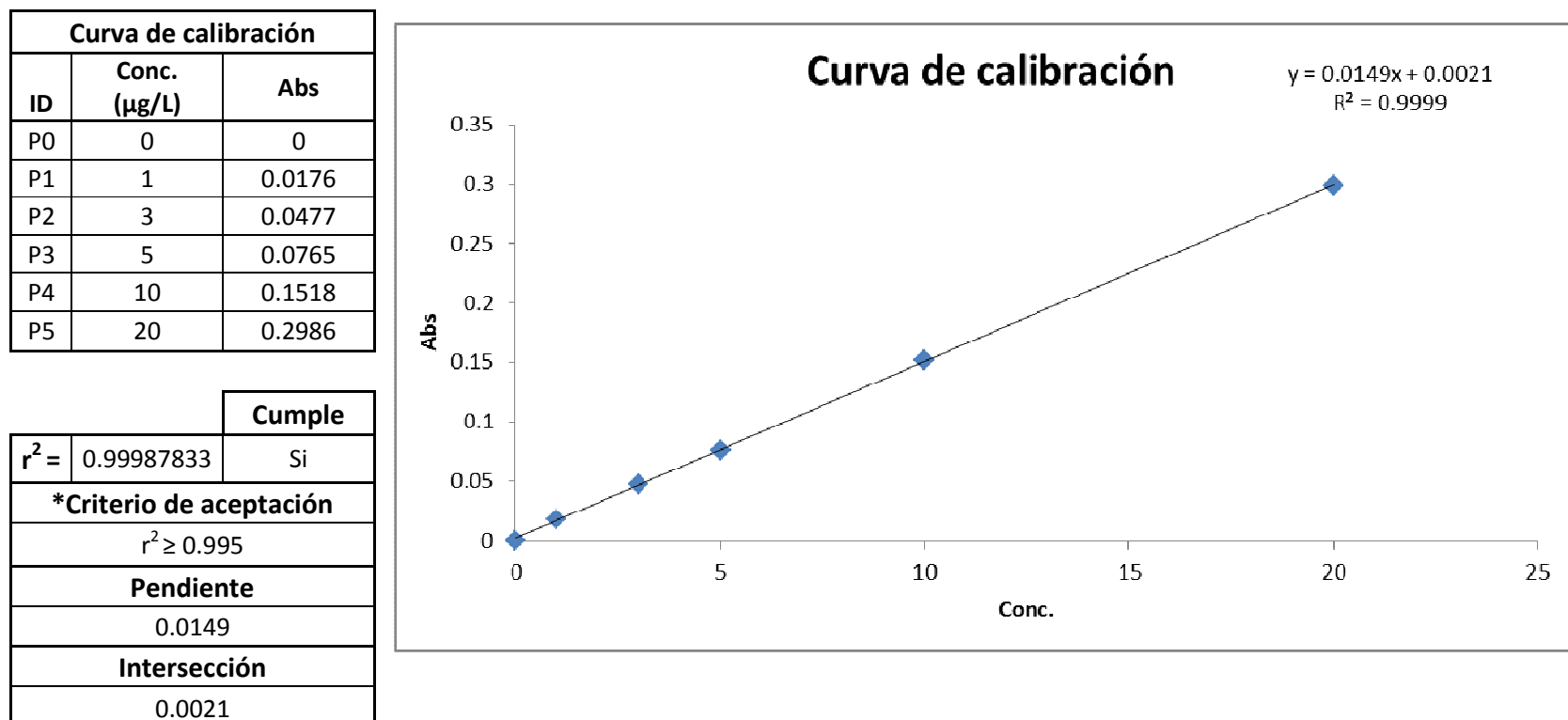
Curva de calibración		
ID	Conc. (µg/L)	Abs
P0	0	0
P1	1	0.0176
P2	3	0.0477
P3	5	0.0765
P4	10	0.1518
P5	20	0.2986

		Cumple
$r^2 =$	0.99987833	Si
*Criterio de aceptación		
$r^2 \geq 0.995$		
Pendiente		
0.0149		
Intersección		
0.0021		



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 17 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 6

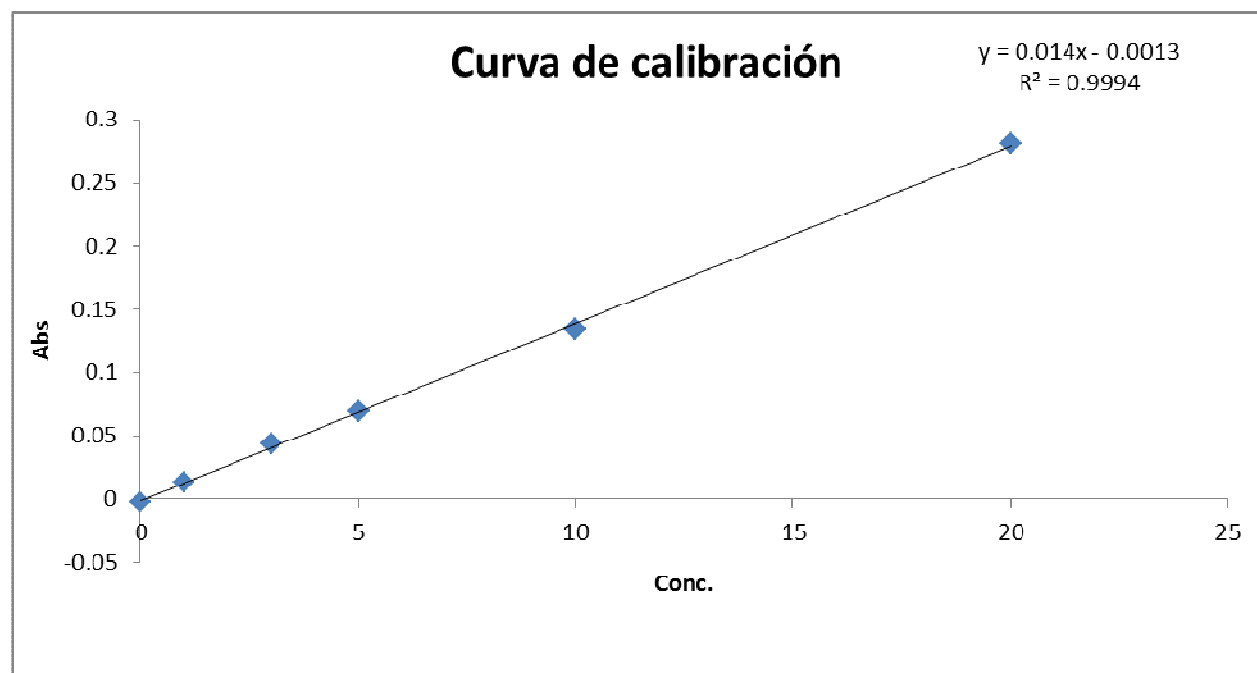


Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 18 Curva de calibración para mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. Lote 7

Curva de calibración		
ID	Conc. (µg/L)	Abs
P0	0	-0.0025
P1	1	0.0132
P2	3	0.0439
P3	5	0.0691
P4	10	0.1343
P5	20	0.2807

		Cumple
r^2	0.99936174	Si
*Criterio de aceptación		
$r^2 \geq 0.995$		
Pendiente		
0.0140		
Intersección		
-0.0013		



Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación

Figura 19 Control de calidad en una muestra de atún adquirida en The Food Environment Research Agency y usada como referencia en esta investigación.

Controles de calidad	Material de referencia				
	Peso	Concentración teórica (µg/L)	Absorbancia	Concentración real (µg/L)	Cumple
	0.5345	330 - 691	0.0733	631.19	Si
	Reactivos fortificados				
	Concentración teórica (µg/L)	Absorbancia	Concentración real (µg/L)	% de Recuperación	Cumple
	5	0.0608	5.573	111.5	Si
* Criterio de cumplimiento para el % de recuperación					85 - 115 %

Fuente: Elaboración propia con información de esta investigación